

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a zařízení

Bakalářská práce

2009

Zdeněk Zdražil

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a zařízení

Chladicí zařízení pro hypotermii lidské tkáně -  
končetina

Cooling system for hypothermia human tissue -  
limb

Student: Zdeněk Zdražil  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2009



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Chladicí zařízení pro hypotermii lidské tkáně – končetina**

*Cooling System for Hypothermia Human Tissue - Limb*

**Student:** Zdeněk Zdražil  
**Studijní obor:** 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
**Specializace:** 2302R010-20 Výrobní stroje a zařízení  
**Pracoviště:** Katedra výrobních strojů a konstruování – 340

### **Zásady pro zpracování:**

Pro potřebu uplatnění léčebné péče na základě hypotermie navrhnete zařízení pro její aplikaci.

Zařízení navrhnete pro potřebu chlazení lidské končetiny - nohy.

Uvažujte s možností použití zařízení v mobilních prostředcích i nemocničních pracovištích.

Pozornost věnujte volbě chladicího principu a způsobu bezpečného zajištění minimální kontaktní teploty.

Proveďte :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění požadavkový list, funkční, orgánová a stavební struktura.
2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.
3. Výrobní výkres zařízení pro použití v nemocničním pracovišti.

**Pokyny pro zpracování:**

**Rozsah práce:** min. 30 stran textu mimo přílohy včetně max. 5ti stran výtahu z Bakalářského projektu - mimo přílohy, rozsah přílohy výkresové části min. 1A0

**Seznam doporučené literatury:**

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka*. Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Bakalářského projektu

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Zdeněk Noga, CSc.

**Datum zadání bakalářské práce:** 10. listopadu 2008

**Akademický rok:** 2008/2009



*Kovář*

.....  
**doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář**  
vedoucí katedry

*Farana*

.....  
**prof. Ing. Radim Farana, CSc.**  
děkan

V Ostravě dne 10. listopadu 2008

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zdražil, Z. *Chladicí zařízení pro hypotermii lidské tkáně - končetina*. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 68 s. Bakalářská práce, vedoucí: Noga, Z.

Bakalářská práce se zabývá problematikou chladicího zařízení pro hypotermii lidské tkáně. Oblast chlazení se týká končetin. Výrobní dokumentace je zaměřena na dolní končetinu. V úvodu jsou nastíněny dosavadní metody chlazení, které se v současnosti používají. Následně je rozpracována varianta chladicích panelů s cirkulující tekutinou. Vytvořená výkresová dokumentace je přiložena v příloze bakalářské práce.

Klíčová slova: hypotermie, chlazení

## ANOTATION OF THESIS

Zdražil, Z. *Cooling system for Hypothermia Human Tissue - Limb*. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 68 p. Thesis, head: Noga, Z.

Bachelor's thesis deals with the cooling equipment for hypothermia human tissues. The area covers cooling of the limbs and manufacturing is focused on the lower limbs. In the introduction, are the current methods of cooling, which are currently used. Subsequently, the elaborated version cooling panels. Created drawing is attached in Annex thesis

Key words: hypothermia, cooling



Obsah	strana
Seznam použitých symbolů.....	10
1. Úvod.....	11
1.1. Definice hypotermie .....	11
1.2. Příklad využití umělé hypotermie.....	11
1.3. Zavádění umělé hypotermie do praxe.....	11
1.4. Aktuální stav techniky v oblasti chladicích přístrojů.....	12
2. Požadavkový list .....	18
3. Funkční struktura.....	19
4. Orgánová struktura.....	21
5. Stavební struktura.....	22
5.1. Chladicí panely .....	23
5.2. Spojky a hadičky .....	27
5.3. Materiál chladicích panelů.....	30
5.4. Lepidlo na přilepení suchých zipů.....	32
6. Výpočtová zpráva.....	34
6.1. Tepelný výkon .....	34
6.2. Průtok chladicí tekutiny .....	39
6.3. Rychlost tekutiny .....	40
6.4. Typ proudění.....	43
6.5. Součinitel přestupu tepla.....	44
6.6. Teplotní rozbor chladicí kapaliny .....	47
6.7. Tlak čerpadla .....	54
6.8. Množství ledu pro chlazení.....	59
7. Závěr.....	60
Seznam literatury .....	61
Seznam obrázků .....	64
Seznam tabulek .....	65
Slovníček technických pojmů .....	66
Seznam příloh.....	68

## Seznam použitých symbolů

$c$ - měrná tepelná kapacita	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
$d$ - průměr kanálu	$[\text{m}]$
$g$ - gravitační zrychlení	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
$h$ - výškový rozdíl	$[\text{m}]$
$p$ - tlak	$[\text{Pa}]$
$\Delta t$ - tepelný gradient	$[\text{K}]$
$l$ - délka	$[\text{m}]$
$w$ - rychlost tekutiny	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
$\dot{m}$ - hmotnostní průtok	$[\text{kg/s}]$
$Pr$ - Prandtlovo kritérium	$[-]$
$\dot{Q}$ - tepelná energie/čas	$[\text{W}]$
$R$ - tepelný odpor	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$Re$ - Reynoldsovo kritérium	$[-]$
$S$ - plocha	$[\text{m}^2]$
$T$ - teplota	$[\text{K}]$
$V$ - objem	$[\text{m}^3]$
$Nu$ - Nuseltovo kritérium	$[-]$
$\alpha$ - součinitel přestupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$\varepsilon$ - emisivita	$[-]$
$\phi$ - hustota tepelného toku	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$
$\lambda_{\text{vody}}$ - součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
$\rho_{\text{vody}}$ - hustota vody	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
$\zeta$ - součinitel místních ztrát	$[-]$
$\tau$ - čas	$[\text{s}]$
$\nu$ - kinematická viskozita	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
$\Phi$ - tepelný tok	$[\text{W}]$
$\Lambda$ - součinitel tření	$[-]$

# 1. Úvod

## 1.1. Definice hypotermie

**Podchlazení** neboli **hypotermie** je stav, kdy teplota organismu poklesne pod úroveň potřebnou pro běžný metabolismus a fungování. U teplokrevných zvířat, včetně člověka, se za normálních podmínek teplota udržuje na stabilní úrovni. Hypotermie nastává, pokud vnitřní mechanismy těla nedokáží kompenzovat ochlazování vnějším prostředím.

Z medicínského hlediska se za podchlazení u člověka považuje nechtěný pokles teploty tělesného jádra pod 35 °C [2]

## 1.2. Příklad využití umělé hypotermie

Jestliže dojde ke srdeční zástavě, jedná se o stav s vysokou úmrtností pacientů a vysokým rizikem následného vážného poškození mozku. V posledních letech byl zjištěn pozitivní vliv hypotermie, která nejen snižuje úmrtnost těchto pacientů, ale snižuje i riziko poškození mozku. Tato metoda je nyní užívána na některých jednotkách intenzivní péče, u nás i ve světě. Do přednemocniční péče doposud nepronikla. [13, 21]

## 1.3. Zavádění umělé hypotermie do praxe

Pod záštitou Územního střediska záchranné služby Středočeského kraje MUDr. Roman Škulec, MUDr. Jana Šeblová a MUDr. Čestmír Kalík nyní pracují na projektu, díky němuž by se měla ověřit proveditelnost této metody v podmínkách PNP v České Republice. Projektu se účastní 13 výjezdových stanovišť a 18 cílových pracovišť, schopných rutinně pokračovat v poresuscitační péči s použitím mírné hypotermie.

Jestliže se tento projekt osvědčí, bude snaha zařadit tuto metodu do standardních resuscitačních postupů. [13, 21]

## 1.4. Aktuální stav techniky v oblasti chladicích přístrojů

### 1.4.1. Vodní systémy



Obr. č. 1 – Chladicí přístroj na vodu [8]

BLANKETROL III je vysoce efektivní mikroprocesorem řízený hyper-hypotermický vodní systém určený pro kontrolované řízení teploty pacienta. Přístroj je vybaven funkcemi, které jej činí nejmodernějším ze všech hyper-hypotermických systémů.

**Funkce GRADIENT 10°C** udržuje rozdíl mezi teplotou pacienta a teplotou vody v matraci na 10°C. Tím umožňuje jednoduché a neagresivní řízení teploty.

**Funkce GRADIENT VARIABLE** umožňuje zvolit jakoukoliv hodnotu přírůstku teploty v rozmezí 1-35 °C. Tento režim umožní akceptovat individuální potřeby jednotlivých pacientů s ohledem na rychlost ohřevu nebo chlazení.

**Funkce SMART** - pokud není dosažena nastavená teplota pacienta do 30 minut, přístroj si upraví teplotu vody vždy o 5°C a to až do té doby, dokud se požadované teploty pacienta nedosáhne.

USB port umožní komunikaci s PC a pomocí SW provádět analýzy trendů. Důležitým příslušenstvím je pokrývka hlavy a patientská vesta. Pokrývka hlavy chrání pacientův mozek proti přehřátí, patientská vesta pak chrání tělo pacienta. Tato metoda chlazení pacienta je rychlá, úsporná a bezpečná. [8]

Blanketrol III představuje nejrychlejší alternativu kontrolovaného a definovaného řízení pacientovi teploty.

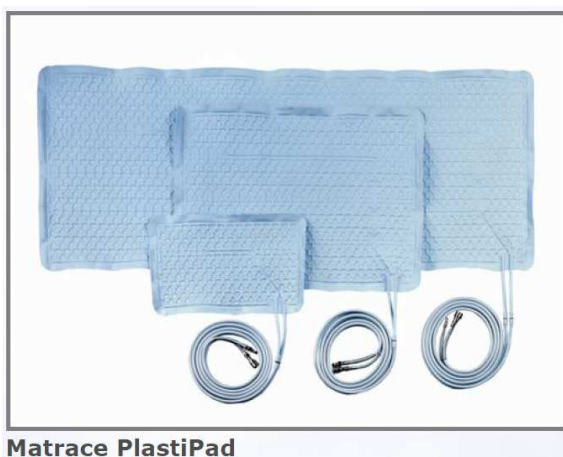
Nabízí tři úrovně bezpečnosti a možnost obsluhy tří matrací současně.

**Charakteristika:**

- Hyper-Hypotermický vodní systém.
- Udržuje teplotu těla na požadované hodnotě.
- Možnost programování gradientů teploty.
- Funkce gradient 10°C.
- Funkce gradient variable.
- Funkce smart.
- Velký průtok vody.
- Rychlá odezva.
- Velmi tichý chod.
- USB port.

**Technické údaje:**

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| - Přenosové médium:            | voda  |
| - Teplota kapaliny:            | 4–42 °C                                     |
| - Průtok:                      | 121 l/h s připojenou matrací                |
| - Chlazení:                    | non-CFC                                     |
| - Rychlost ohřátí/ochlazení:   | 3,8 °C až 5 °C za minutu                    |
| - Tepelný výkon:               | 800 Wattů                                   |
| - Alarmy:                      | vysoká teplota, málo kapaliny, vadný senzor |
| - Bezpečnostní teplotní čidla: | 43,5 °C; 44,5 °C; 46 °C                     |
| - Komunikační port:            | USB 2.0                                     |
| - Napájení:                    | 230 V, 50 Hz, 5 A                           |
| - Rozměry:                     | 43 x 43 x 95 cm                             |
| - Váha:                        | 55 kg [8]                                   |



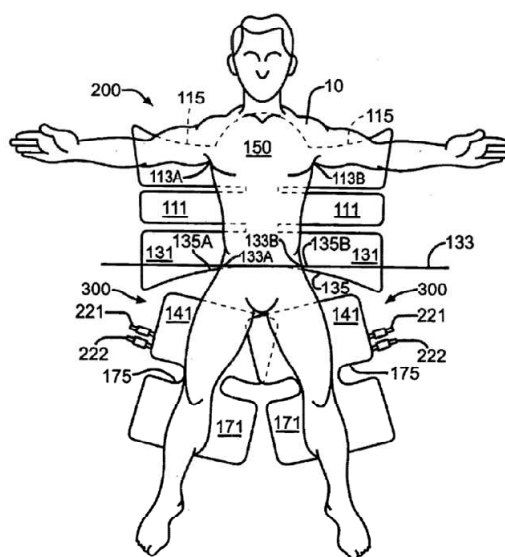
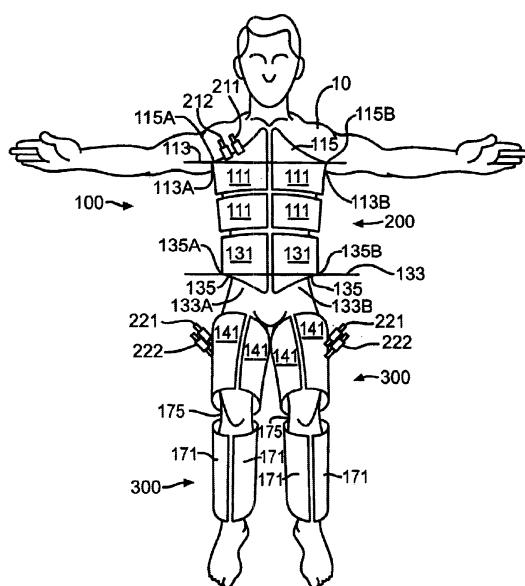
Matrace PlastiPad

Obr. č. 2 – Chladicí matrace [8]



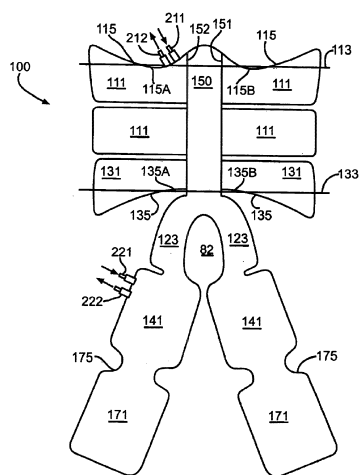
Matrace Maxitherm

Obr. č. 3 – Aplikace chladicí matrace [8]



Obr. č. 4 – Panely pro chlazení celého těla [29]

Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je ukázána varianta celotělové ohřívací a chladicí pokrývky **200** a **300**. Chladicí pokrývka **200** obsahuje hrudní panel **111** a břišní panel **131** spojený hlavním panelem **150**. Zajistí zabalení hrudě a břicha. Chladicí pokrývka **300** obsahuje bércevní panel **171** spojený přes otevřeně přes koleno **175** se stehenním panelem **141** a zajišťuje zabalení dolní končetiny bez tlakového kontaktu v místě kolena. [29]



—FIG. 2

**Obr. č. 5 - Zařízení pro chlazení celého těla [29]**

Na Obr. č. 5 je ukázána další varianta celotělové ohřívací a chladicí pokrývky **100** představovaného vynálezu. Hlavní panel je na obrázku označen **150**, horní nožní panel **141** a spodní nožní panel **171** s propojovací plochou **123**. Ohřívací a chladicí pokrývka **100** zajistí zabalení hrudníku, břicha, horní a dolní části dolní končetiny při použití variantních panelech **111**, **131**, **141** a **171**. Tyto variantní panely mohou zůstat otevřeny během úspěšných operací, při lékařských procedurách nebo při hygieně. [29]

#### 1.4.2. Vzduchové systémy



**Obr. č. 6 – Vzduchový chladicí přístroj [8]**

#### **Charakteristické vlastnosti:**

Snižuje podchlazení během chirurgických operací.

Pomáhá udržovat pacientovu teplotu na normálu.

Kompaktní jednotka.

Malá hmotnost.

Jednoduché použití.

Alarmy vysoké a nízké teploty.

#### Technické údaje:

- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| - Přenosové médium:     | vzduch                    |
| - Nastavitelné teploty: | pokožová                  |
| nízká:                  | 32,2 °C                   |
| střední:                | 37,8 °C                   |
| vysoká:                 | 43,3 °C                   |
| - Tepelný výkon:        | 1200 W                    |
| - Průtok vzduchu:       | 35 m <sup>3</sup> /minutu |
| - Filtr:                | 0,2 mikronů               |
| - Hmotnost:             | 6,2 kg                    |
| - Rozměry:              | 22 x 22 x 34 cm [8]       |

### 1.4.3. Systémy přijímací latentní teplo

EMCOOLSpad jsou chladicí panely, které lze velmi dobře přizpůsobit lidskému tělu. Jsou složeny z několika chladících prvků (energie buněk), které jsou umístěny přímo na povrchu kůže a pevně lékařským lepidlem. Vzhledem ke speciální (patentované) struktuře chladících prvků, bylo prokázáno, že je možné snížit teplotu mozku a jádra v průměru o více než 3 °C do 1 hodiny. Chlazení lze spustit podstatně dříve, ve srovnání s konvenčními metodami (téměř 2 hodiny). [9].



Obr. č. 7 – Chladicí panely EMCOOLSpad [9].





Obr. č. 8 – Aplikace chladicích panelů EMCOOLSpad [9].



Obr. č. 9 – Teploměr EMCOOLStemp [9].

## 2. Požadavkový list

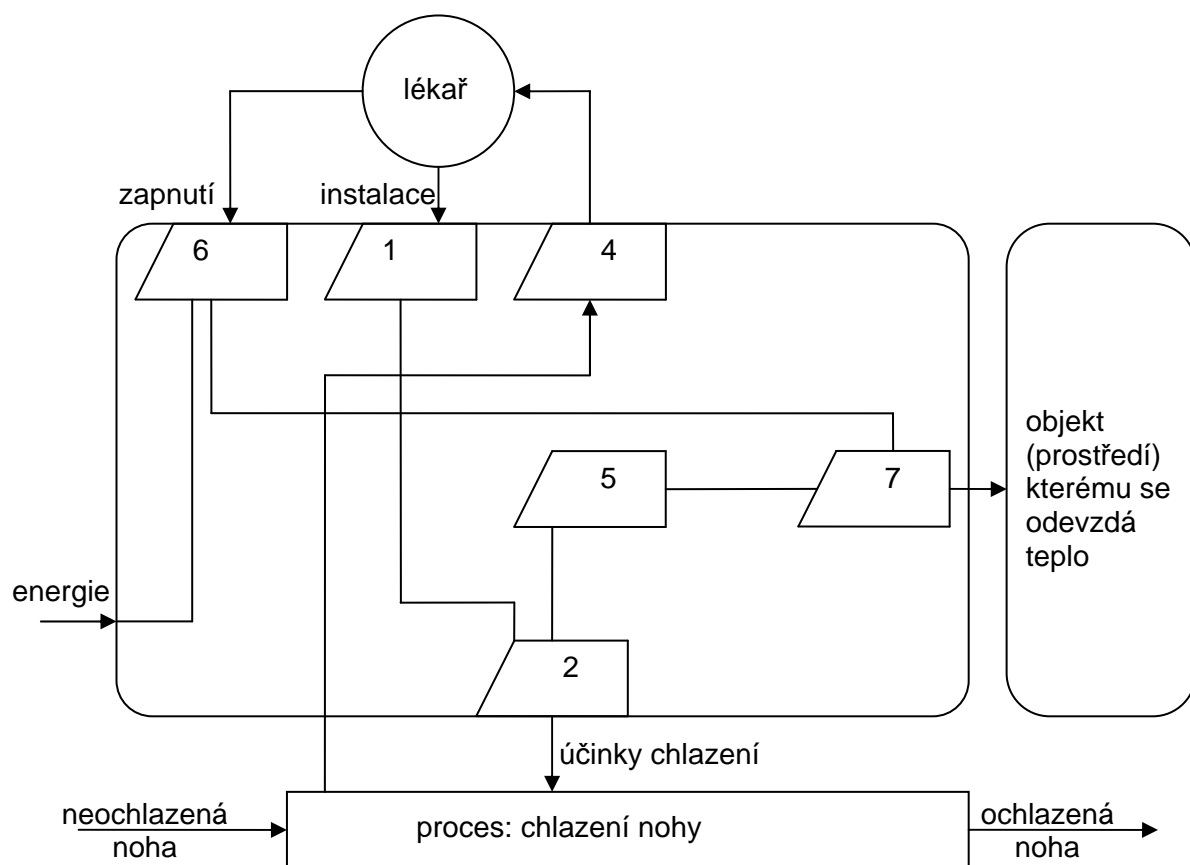
### Hlavní požadavky

- chladit
- regulovat teplotu na 6°C [16]
- musí pracovat v rozsahu teplot -30°C až 40°C [15]

### Bezpečnostní požadavky

- nesmí vytvářet omrzliny
- nesmí vytvářet otlačeniny
- musí umožnit otáčení pacienta
- musí umožnit rychlou kontrolu pacienta
- pokud bude přístroj rozebíratelný, jeho konstrukce nesmí umožnit špatné složení
- odebírané teplo nesmí poranit obsluhu

### 3. Funkční struktura



Obr. č. 10 – Funkční struktura (terminologie a schémata přebrána z [14])

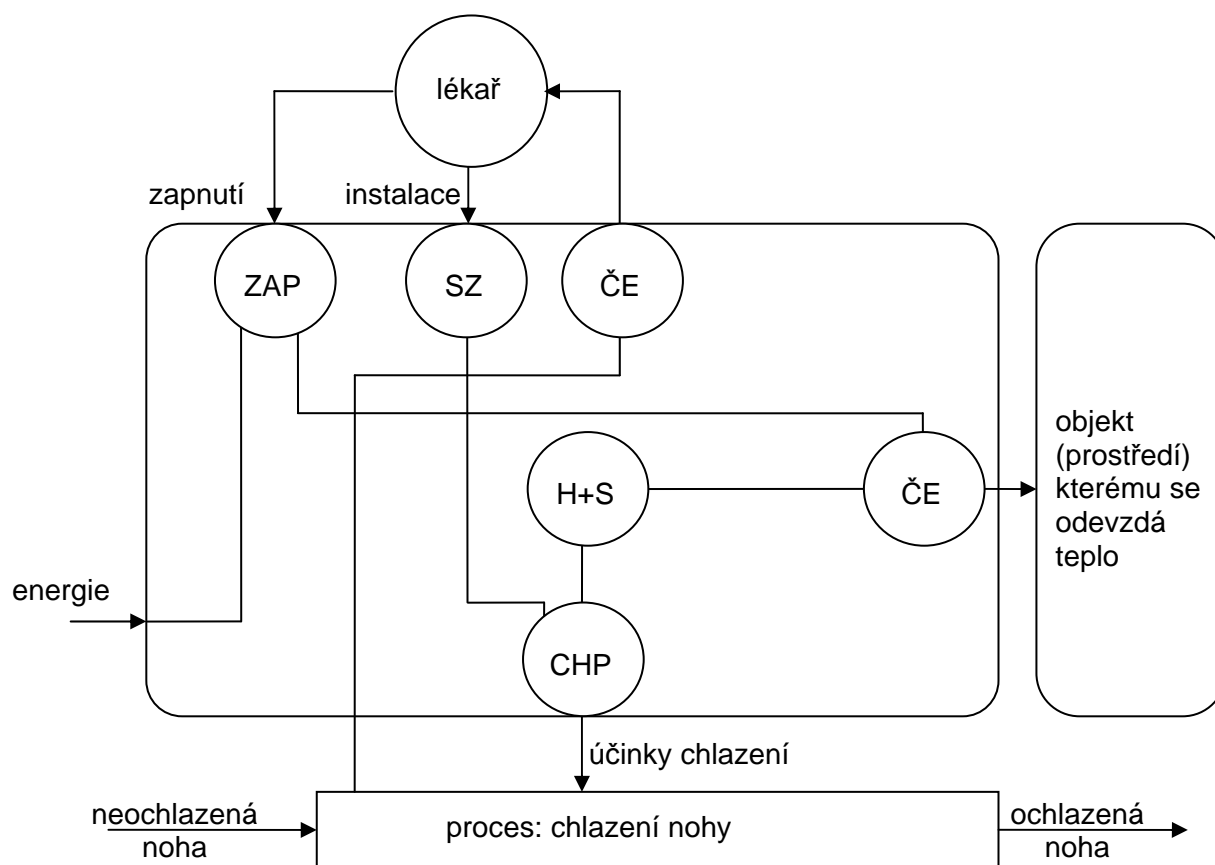
	Funkce
1	Přípevnit
2	Odvést teplo z pokožky
4	Kontrola teploty pokožky
5	Propojení s chladicím prostředkem
6	Zapnout
7	Cirkulace chladicí kapaliny

Tab. č. 1 – Tabulka funkcí (terminologie a schémata přebrána z [14])

Tab. č. 2 – Morfologická matice (terminologie a schémata přebírána z [14])

	Funkce	Orgán						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Připevnit	Lepidlo	Lepicí páska	Mašličky	Knoflíky	Magnety	Suchý zip	Zip
2	Odvést teplo z pokožky	Hadičky s proudící tekutinou	Chladicí panel					
4	Kontrola teploty pokožky	Infrateploměr	Teploměr s tekutými krystaly	Bimetalový teploměr	Elektrický polovodičový teploměr	Elektrický odporový teploměr		
5	Propojení s chladicím prostředkem	Trubky + závitové šroubení	Otevřená koryta	Hadičky + spojky				
6	Zapnout	Dálkové ovládání	Časový spínač	Dotykový senzor	Hlasový senzor	Světelná závora	Tlačítkový zapínač	
7	Cirkulace chladicí kapaliny	Tlaková nádoba se stlačeným vzduchem	Čerpadlo	Samospádem				

## 4. Orgánová struktura

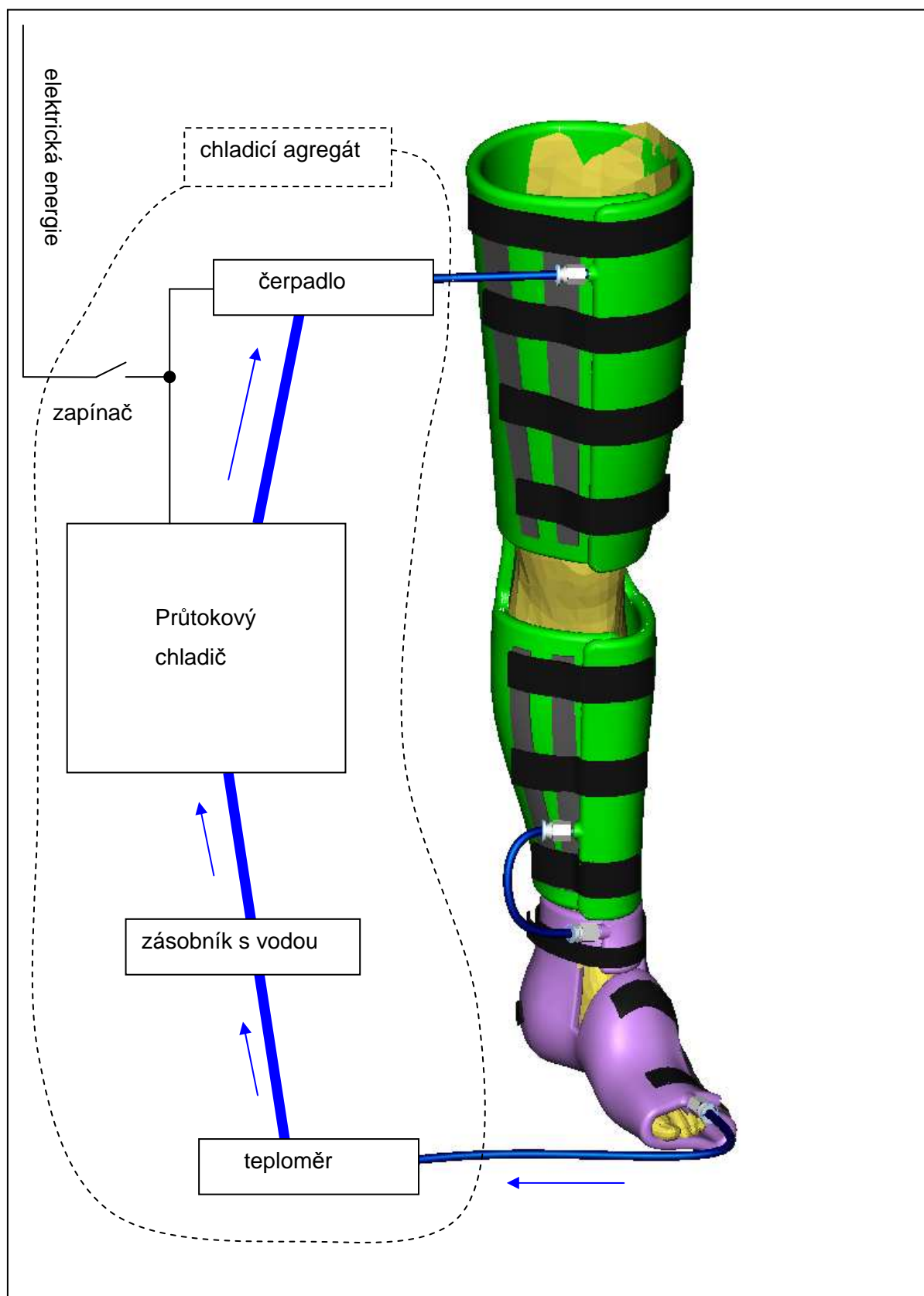


Obr. č. 11 – Orgánová struktura (terminologie a schémata přebrána z [14])

	Funkce	Orgán	
1	Přípevnit	Suchý zip	SZ
2	Odvést teplo z pokožky	Chladicí panel	CHP
4	Kontrola teploty pokožky	Teploměr	TP
5	Propojení s chladicím prostředkem	Hadičky + spojky	H+S
6	Zapnout	Zapínač	ZAP
7	Cirkulace chladicí kapaliny	Čerpadlo	ČE

Tab. č. 3 – Tabulka funkcí a orgánů (terminologie a schémata přebrána z [14])

## 5. Stavební struktura

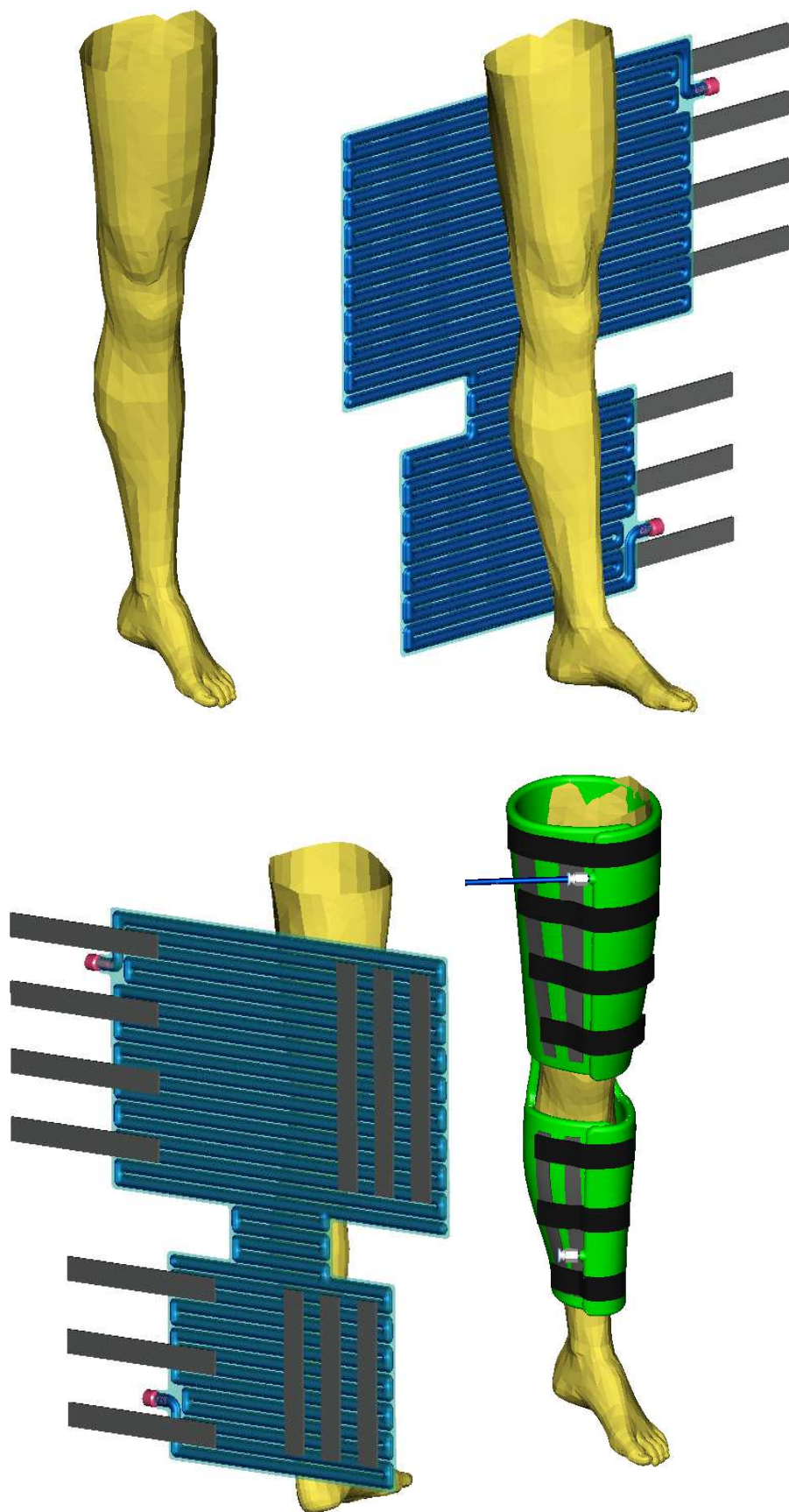


Obr. č. 12 – Stavební struktura

### **5.1. Chladicí panely**

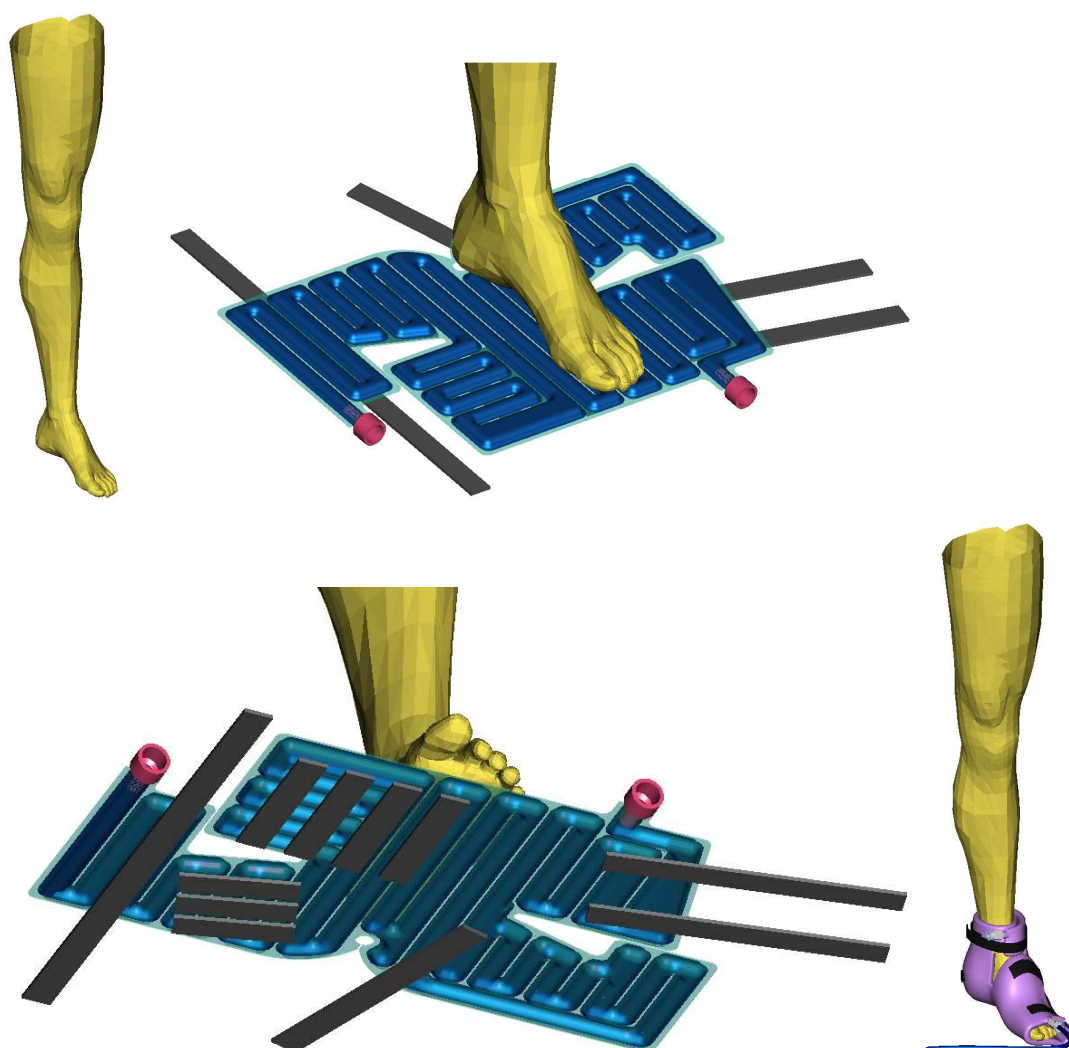
Jelikož jsme při chlazení lidské tkáně limitováni minimální teplotou, tudíž je omezený i teplotní gradient, na kterém je závislý tepelný tok. Další možnost jak zvýšit tepelný tok je zvýšit přechodovou plochu, přes kterou je teplo z pacientovy dolní končetiny odváděno. Abychom využili maximální plochy dolní končetiny je využito tzv. chladicích panelů. Jejich tvar byl inspirován americkým patentem [29].

Nevýhoda těchto chladicích panelů je stejná jako u oblečení. Jelikož rozměry dolních končetin jsou různé v závislosti na věku, pohlaví atd. musí chladicí systém obsahovat sadu chladicích panelů kde bude několik velikostí od novorozeně až po dospělého člověka. V této bakalářské práci je rozkreslena pouze jedna velikost, poněvadž ostatní velikosti jsou stejné akorát zmenšené určitým měřítkem při zachování stejných tloušťek panelů a při zachování rozměrů spojek.

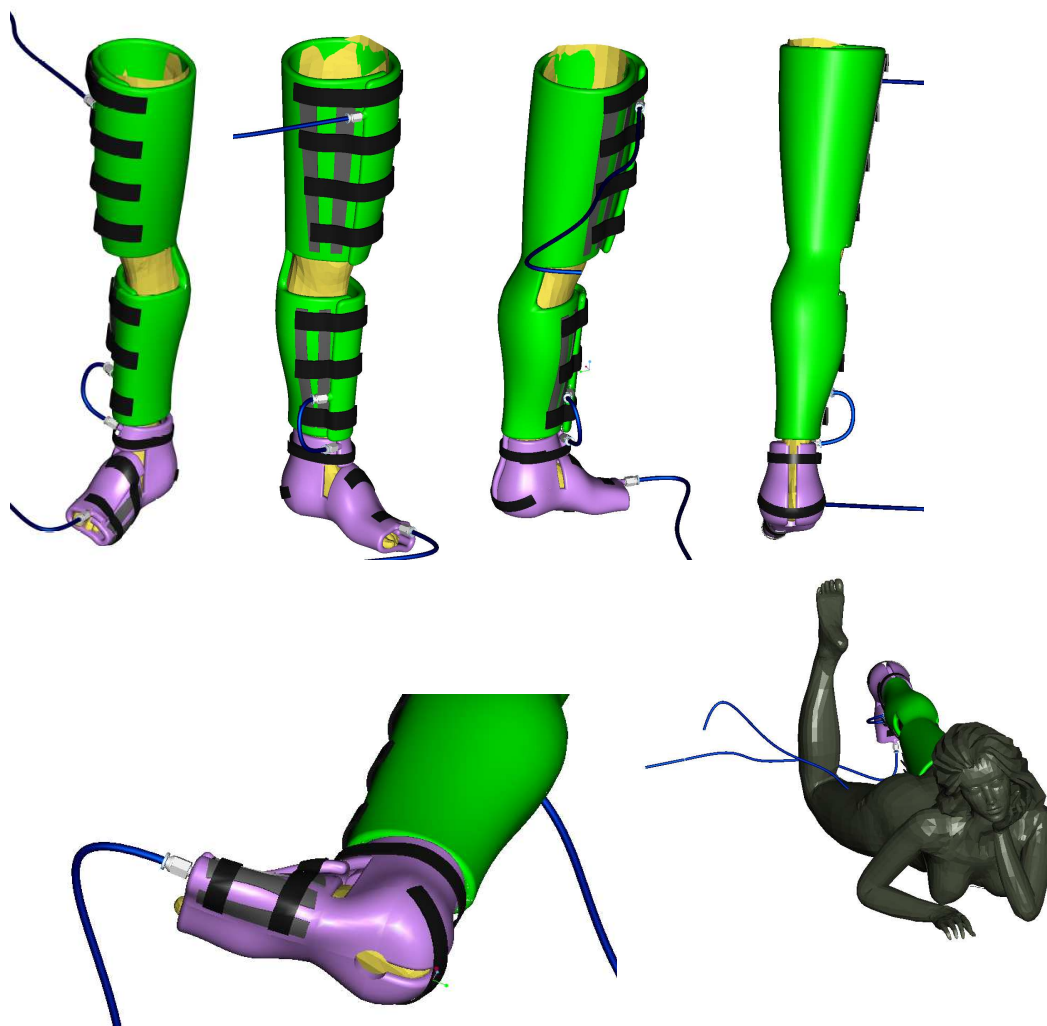


Obr. č. 13 – Instalace bércevého a stehenního panelu





Obr. č. 14 – Instalace nožního panelu



**Obr. č. 15 – Instalace nožního panelu**

Pozn.: 3D model dolní končetiny (žlutá barva) byl stažen z <http://3delicious.net/>, ale zbytek byl vymodelován v Pro/E Wildfire 2

## 5.2. Spojky a hadičky

Na dopravu kapaliny jsou využity hadice a spojky primárně používané pro pneumatické systémy. Jejich aplikace pro dopravu vody byla konzultována s Bc. Bochníčkem, což je obchodně technický zástupce firmy Bosch Rexroth

Proudové a uzavírací ventily →

### \* Blokovací ventil, QR1-AAN

Qn = 300 - 1800 l/min; vnější závit - Nástrčné šroubení



00117388

Druh konstrukce  
Provozní tlak min/max  
Teplota okolí min./max.  
Teplota média min./max.  
Médium

sedlový ventil  
0 bar / 10 bar  
+0 °C / +60 °C  
+0 °C / +60 °C  
stlačený vzduch

Materiály:  
Pouzdro  
těsnění

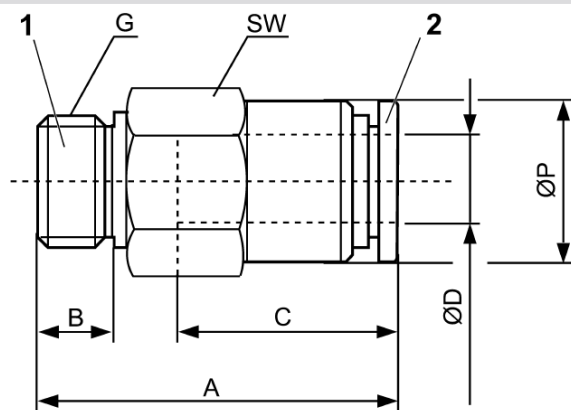
mosaz, poniklovaný  
butadién-akrylonitrilový kaučuk

### Technické poznámky

- Při připojení/odpojení hadice stlačeného vzduchu a uzavíracího ventilu se uvolní/zastaví průtok.

	Přípoj 1	Přípoj 2	Qn	Hmotnost	dodací jed- notka	Číslo materiálu
			[l/min]	[kg]	[Ks]	
	G 1/8	Ø 4	300	0,011	10	R412005526
	G 1/8	Ø 6	700	0,013		R412005527
	G 1/4	Ø 6	700	0,021		R412005528
	G 1/4	Ø 8	900	0,02		R412005529
	G 1/4	Ø 10	900	0,029		R412005530
	G 3/8	Ø 8	900	0,039		R412005531
	G 3/8	Ø 10	1300	0,034		R412005532
	G 3/8	Ø 12	1500	0,059		R412005533
	G 1/2	Ø 10	1500	0,061		R412005534
	G 1/2	Ø 12	1800	0,067		R412005535

### Rozměry



Číslo materiálu	G	Ø D	A	B	C	SW	Ø P
R412005527	G 1/8	6	26,9	5	17	14	12
R412005528	G 1/4	6	29,4	6	17	17	13
R412005529	G 1/4	8	33,8	6	18,5	17	14
R412005530	G 1/4	10	37,3	6	21	17	17
R412005531	G 3/8	8	33,8	7	18,5	21	17
R412005532	G 3/8	10	38,3	7	21	21	17
R412005533	G 3/8	12	46	7	22	21	20,2
R412005534	G 1/2	10	38,3	8,5	21	24	18
R412005535	G 1/2	12	49	8,5	22	24	20,2

Obr. č. 16 – Blokovací ventil [31]

Proudové a uzavírací ventily →

★ Zpětný ventil, Série QR1-ANR

Qn = 280 - 2000 l/min; vnější závit - Nástrčné šroubení



00117393

Druh konstrukce  
Provozní tlak min./max.  
Teplota okolí min./max.  
Teplota média min./max.  
Médium

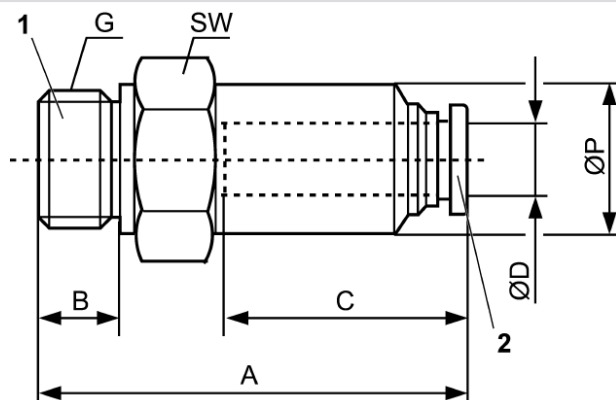
sedlový ventil  
0,8 bar / 10 bar  
+0 °C / +60 °C  
+0 °C / +60 °C  
stlačený vzduch

Materiály:  
Pouzdro  
těsnění

mosaz, poniklovaný  
butadien-akrylonitrilový kaučuk

	Přípoj 1	Přípoj 2	Qn	Hmotnost	dodací jed- notka	Číslo materiálu
			[l/min]	[kg]	[Ks]	
	G 1/8	Ø 4	280	0,01	5	R412005565
	G 1/8	Ø 6	600	0,013	5	R412005566
	G 1/8	Ø 8	900	0,019	5	R412005567
	G 1/4	Ø 6	600	0,02	5	R412005568
	G 1/4	Ø 8	900	0,021	5	R412005569
	G 3/8	Ø 10	1800	0,046	2	R412005570
	G 3/8	Ø 12	1800	0,049	2	R412005571
	G 1/2	Ø 12	2000	0,069	2	R412005572

Rozměry



00117450

Číslo materiálu	G	Ø D	A	B	C	SW	Ø P					
R412005565	G 1/8	4	25,8	5	16	14	9,6					
R412005566	G 1/8	6	26,8	5	17	14	11,6					
R412005567	G 1/8	8	27,6	5	18,5	14	13,6					
R412005568	G 1/4	6	30,2	6	17	17	11,6					
R412005569	G 1/4	8	32,6	6	18,5	17	13,6					
R412005570	G 3/8	10	62,2	7	21	24	25					
R412005571	G 3/8	12	64,4	7	22	24	25					
R412005572	G 1/2	12	70,5	8,5	22	27	28					

Obr. č. 17 – Zpětný ventil [31]

# ★Hadice stlačeného vzduchu, série TU1-S

► Ø 4 - 16 mm



Teplota okolí min./max. -40°C / +80°C

Materiály:

Hadice stlačeného vzduchu polyamid

## Technické poznámky

■ S vnější kalibrací

Průměr hadice vnější	Tloušťka stěny	Provozní tlak max při 20 °C	Poloměr ohybu ≥	Hmotnost	Barva	Délka	Číslo materiálu
[mm]	[mm]	[bar]	[mm]	[kg/m]		[m]	
4	0,5	22	20	0,006	Modrý	25	2815204020
	0,5				černý	50	2815304050
	0,5				Transparentní	50	2815404050
	0,5				Modrý	100	2815204100
	0,5				Stříbrošedý	100	2815504100
	1				Transparentní	25	1820712100
	1				černý	25	1820712110
6	0,65	20	30	0,011	Modrý	25	2815206020
	0,65				Stříbrošedý	25	2815506020
	0,65				černý	50	2815306050
	0,65				Transparentní	50	2815406050
	0,65				Modrý	100	2815206100
	0,65				Stříbrošedý	100	2815506100
	1				Transparentní	25	1820712101
	1				černý	25	1820712111
	1				červený	25	R412007515
	1				Zelený	25	R412007516
	1				Zelený	100	R412007636
	1				Transparentní	100	R412009905
	1				černý	100	R412009906

Obr. č. 18 – Hadičky [32]

### 5.3. Materiál chladicích panelů

#### MĚKČENÉ PVC

Plast se v největší míře uplatňuje jako výplň lamelových clon či kyvných vrat. Fantazii užití se však meze nekladou [33]

Standardní fólie

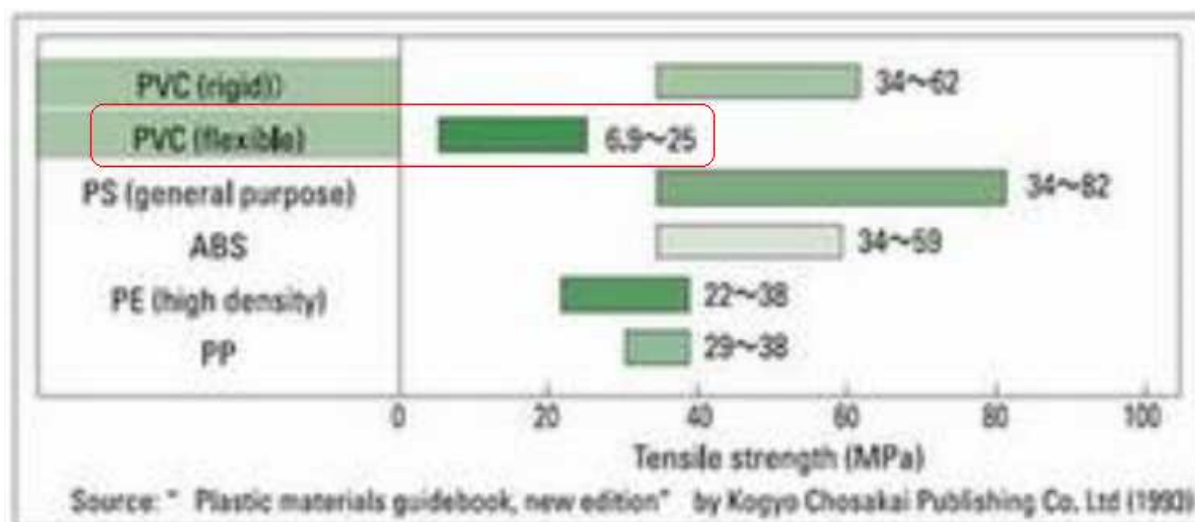
Standardní průhledná fólie s UV filtrem a odolností proti hoření nejčastěji používaný pro clony, Materiál je vysoce odolný v tahu, odolný proti chladu a je chemicky stálý. Na povrchu je speciální vrstva zvyšující odolnost materiálu proti oděru tloušťka 0,3 až 10mm, šířka 100 - 2200mm, [33]

Fantazii pro jiné způsoby použití se však meze nekladou. Zákazníci si už materiál zakoupili (v závislosti na tloušťce a ploše) jako:

- průhledné podložky na stůl
- okno do kabrioletu
- antivibrační podložky
- pro reklamní účely
- pro výrobu těsnících kroužků
- jako ochranu pro sněžnou rolbu
- na čelní netříštivý kryt vysokozdvizného vozíku [33]

#### 5.3.1. Technické informace:

Materiál je vysoce odolný v tahu, odolný proti chladu a je chemicky stálý. [33]



Obr. č. 19 – Pevnosti v tahu různých plastů [36]



**Obr. č. 20 – Příklady použití PVC [33]**

## 5.4. Lepidlo na přilepení suchých zipů

UHU weich PVC – lepidlo pro opravy a lepení měkčených plastů



Obr. č. 21 – Lepidlo UHU weich pvc [35]

### 5.4.1. Vlastnosti:

Velmi pevné speciální transparentní lepidlo pro opravy a lepení měkčených plastů. Má vysokou odolnost vůči vodě a teplotám od  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je také odolné v úči olejům, ředěným kyselinám a louhům. Lepený spoj zůstává elastický a vyrovnává vnitřní napětí. [35]

### 5.4.2. Rozsah použití:

Lepí měkčené PVC, gumu a umělou kůži (nafukovací hračky, čluny, lehátka, bazény, pláštěnky, plastová obuv aj.). Lepidlo není vhodné pro lepení PE, PP, teflonu, silikonu a pěnového polystyrenu. [35]

### 5.4.3. Návod k použití:

Lepené části musí být čisté, suché a odmaštěné.

1. Lepidlo naneste na obě plochy lepeného materiálu
2. Nechejte 10 min. zavadnout
3. Krátce a silně přitlačte k sobě

Po slepení již není možná korektura. Skladujte v suchu a chladu. [35]



#### 5.4.4. Balení:

Název produktu:	Kat. č. Z - TRADE:	Kat. č. UHU:	Obsah balení:	ks v balení:
UHU weich pvc	5594	46655	30 g	6

#### 5.4.5. Důležité informace:

Uchovávejte mimo dosah dětí! Při nadýchání zabezpečte dostatečný přísun vzduchu. Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou. Při požití nevyvolávejte zvracení a okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc. [35]

#### 5.4.6. Obsahuje:

butanon, ethyl-acetát



Obr. č. 22 – Bezpečnostní značky [35]

## 6. Výpočtová zpráva

### 6.1. Tepelný výkon

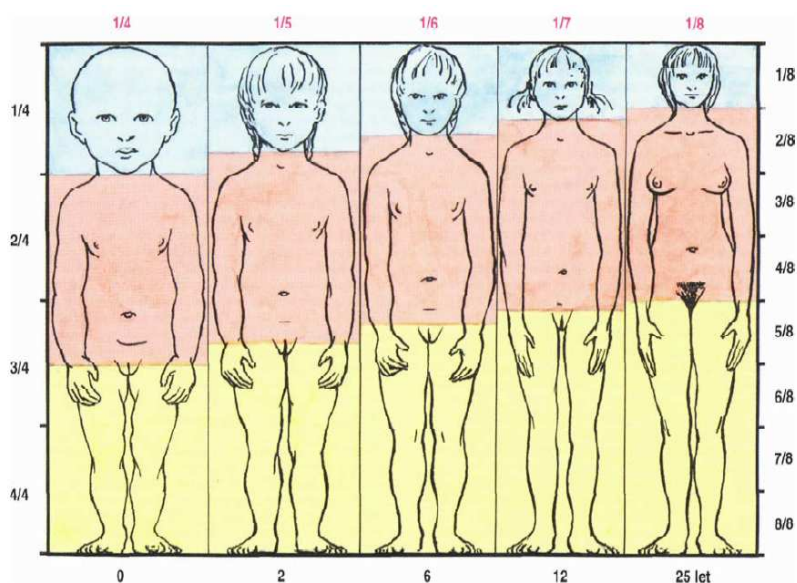
Přesné zjištění tepelného výkonu dolní končetiny by bylo nutné provést experimentálně, což by bylo finančně velmi náročné a zjišťování tohoto parametru by bylo mimo rozsah této práce. Z těchto důvodů se tepelný výkon dolní končetiny odhadne. Pro představu je nutné zjistit rozsah výkonu, pro který bude zařízení navrhováno.

Tepelný výkon člověka v klidu je 80W [1]. Abychom mohly stanovit tepelný výkon nohy musíme jej předimenzovat, protože skutečný tepelný výkon člověka se může lišit v závislosti na okolní teplotě, na věku člověka, na fyzické zátěži a na mnoha jiných parametrech.

Z těchto důvodů volím tepelný výkon jedné končetiny 80W.

#### 6.1.1. Rozměry dolní končetiny

Pokud chceme zjistit maximální a minimální rozměry končetiny musíme vycházet z celkových rozměrů člověka v závislosti na proporcích v daném věku.



Obr. č. 23 - Změna proporcí těla za růstu [37]

Podle Obr. č. 23 vypočteme velikosti dolních končetin.

	Celková velikost člověka	Velikost dolní končetiny
Dospělý člověk	$l_d = 1900\text{mm}$ (odhad)	$l_{kd} = 1900 \cdot (4/8) = 950\text{ mm}$
Novorozenec	$l_n = 500\text{mm}$ [46]	$l_{kn} = 500 \cdot (3/8) = 187.5\text{ mm}$

Tab. č. 4 – Velikost dolních končetin

### 6.1.2. Odhadnutí plochy nohy

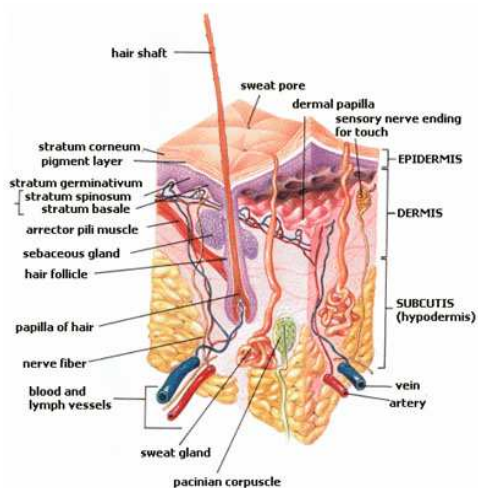
Velikost plochy dolní končetiny u novorozence bude odhadnuta pomocí přímé úměry, v závislosti na velikosti dolní končetiny. Jelikož výkon dolní končetiny u dospělého člověka je hodně předdimenzován, můžeme si tento nepřesný odhad dovolit.

#### Lidská kůže

- Je z pohledu chlazení kontaktní plocha přes kterou je možno odvádět teplo.
- Plocha kůže u dospělého člověka dosahuje 1,6 až 1,8 m<sup>2</sup>.
- Na dolní končetiny připadá asi 36 % celého povrchu kůže. [6]

Plocha jedné nohy pro dospělého člověka:

$$S_{kd} = \frac{1.7 \cdot 0.36}{2} = 0.3 \text{ m}^2 \quad (1)$$



Obr. č. 24 – Řez kůží [6]

$$S_{kn} = \frac{l_{kn}}{l_{kd}} \cdot S_{kd} = \frac{187.5}{950} \cdot 0.3 \cong 0.06 \text{ m}^2 \quad (2)$$

	Velikost dolní končetiny	Plocha dolní končetiny
Dospělý člověk	$l_{kd} = 950 \text{ mm}$	$S_{kd} = 0.3 \text{ m}^2$
Novorozenec	$l_{kn} = 187.5 \text{ mm}$	$S_{kn} = 0.06 \text{ m}^2$

Tab. č. 5 – Plocha dolní končetiny

### 6.1.3. Rozložení plochy na dolní končetině

Jelikož velikost ploch na různých částech těla není stejná je nutno si celkovou plochu rozdělit na jednotlivé části.

Část těla	Procentuální rozložení plochy	Plocha dolní končetiny dospělého člověka	Plocha dolní končetiny novorozence
Celá dolní končetina	100%	$S_{kd} = 0.3 \text{ m}^2$	$S_{kn} = 0.06 \text{ m}^2$
Stehno	50%	$S_{sd} = 0.3 \cdot \frac{50}{100} = 0.15 \text{ m}^2$	$S_{sd} = 0.06 \cdot \frac{50}{100} = 0.03 \text{ m}^2$
Bérec	40%	$S_{bd} = 0.3 \cdot \frac{40}{100} = 0.12 \text{ m}^2$	$S_{bn} = 0.06 \cdot \frac{40}{100} = 0.024 \text{ m}^2$
Noha	10%	$S_{nd} = 0.3 \cdot \frac{10}{100} = 0.03 \text{ m}^2$	$S_{nn} = 0.06 \cdot \frac{10}{100} = 0.006 \text{ m}^2$

Tab. č. 6 – Plocha dolní končetiny

### 6.1.4. Odhadnutí tepelného výkonu

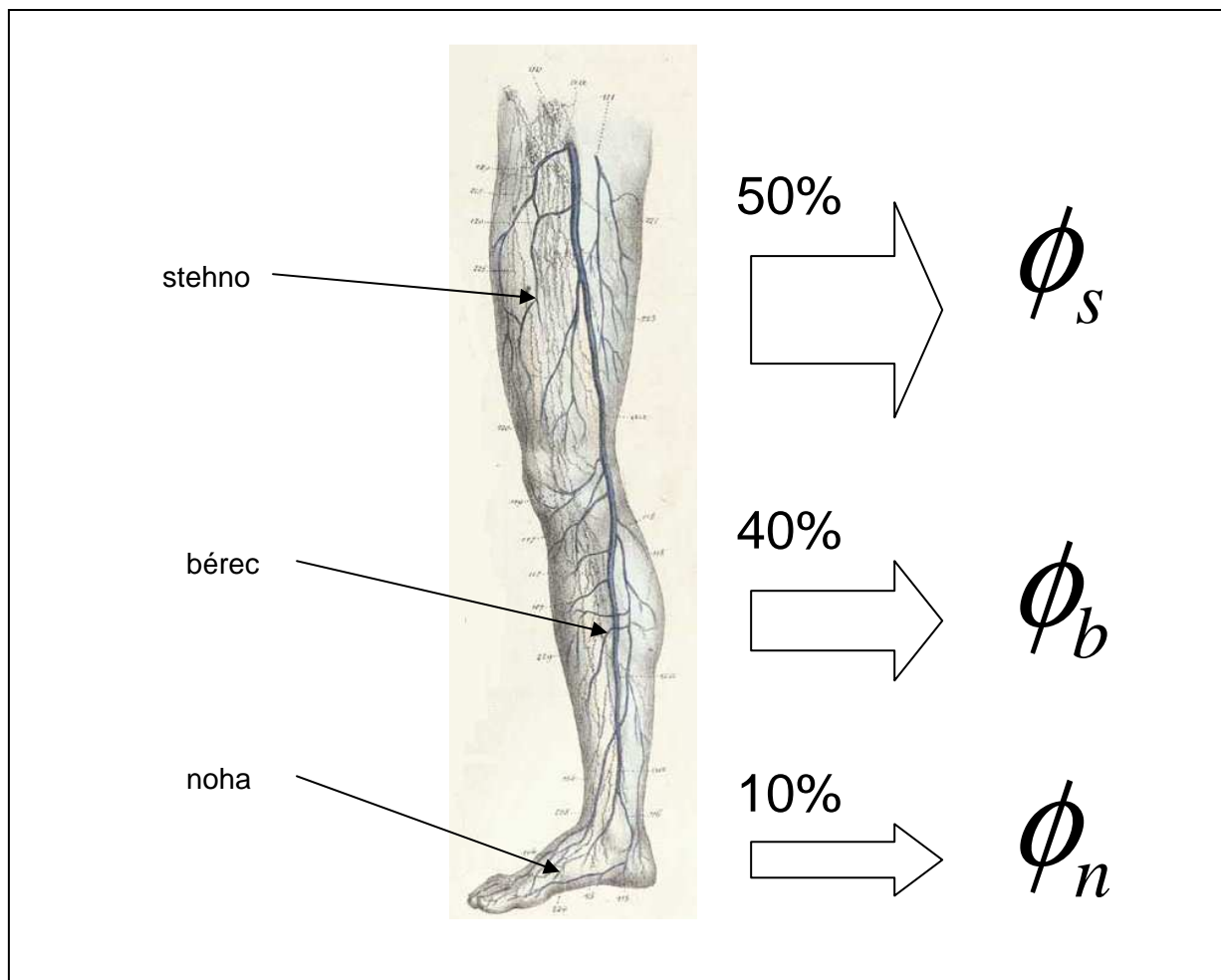
Velikost tepelného výkonu dolní končetiny u novorozence bude odhadnuta pomocí přímé úměry, v závislosti na velikosti dolní končetiny. Jelikož výkon dolní končetiny u dospělého člověka je hodně předimenzován, můžeme si tento nepřesný odhad dovolit.

$$\Phi_{kn} = \frac{l_{kn}}{l_{kd}} \cdot \Phi_{kd} = \frac{187.5}{950} \cdot 80 = 16 \text{ W} \quad (3)$$

	Velikost dolní končetiny	Tepelný výkon dolní končetiny
Dospělý člověk	$l_{kd} = 950 \text{ mm}$	$\Phi_{kd} = 80 \text{ W}$
Novorozenec	$l_{kn} = 187.5 \text{ mm}$	$\Phi_{kn} = 16 \text{ W}$

Tab. č. 7 – Tepelný výkon dolní končetiny

### 6.1.5. Rozložení tepelného výkonu na dolní končetině



Obr. č. 25 – Proudění krve v dolní končetině (podklad pro obr. převzat z [12])

Rozložení tepelného výkonu na dolní končetině není rovnoměrné. Na Obr. č. 25 je vidět rozdělení dolní končetiny dle lékařského názvosloví. Jelikož hlavním zdrojem tepla je tok teplé krve pomocí cév, lze dle obrázku usoudit, že nejvíce tepla bude produkovat stehno a nejméně noha.

Část těla	Tepelný výkon dospělého člověka	Tepelný výkon novorozence
Celá dolní končetina	$\Phi_{kd} = 80 \text{ W}$	$\Phi_{kn} = 16 \text{ W}$
Stehno	$\Phi_{sd} = 80 \cdot \frac{50}{100} = 40 \text{ W}$	$\Phi_{sd} = 16 \cdot \frac{50}{100} = 8 \text{ W}$
Bérec	$\Phi_{bd} = 80 \cdot \frac{40}{100} = 32 \text{ W}$	$\Phi_{bn} = 16 \cdot \frac{40}{100} = 6.4 \text{ W}$
Noha	$\Phi_{nd} = 80 \cdot \frac{10}{100} = 8 \text{ W}$	$\Phi_{nn} = 16 \cdot \frac{10}{100} = 1.6 \text{ W}$

Tab. č. 8 – Tepelný výkon dolní končetiny

### 6.1.6. Tepelný tok na dolní končetině

$$\phi = \frac{\Phi}{S} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad [3] (4)$$

kde je  $\phi$  - hustota tepelného toku  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ ,

$\Phi$  - tepelný tok  $[\text{W}]$ ,

$S$  - plocha, přes kterou tepelný tok teče  $[\text{m}^2]$ .

Část těla	Tepelný tok dolní končetiny dospělého člověka	Tepelný tok dolní končetiny novorozence
Celá dolní končetina	$\phi_{kd} = \frac{\Phi_{kd}}{S_{kd}} = \frac{80}{0.3} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$\phi_{kn} = \frac{\Phi_{kn}}{S_{kn}} = \frac{16}{0.06} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
Stehno	$\phi_{sd} = \frac{\Phi_{sd}}{S_{sd}} = \frac{40}{0.15} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$\phi_{sn} = \frac{\Phi_{sn}}{S_{sn}} = \frac{8}{0.03} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
Bérec	$\phi_{bd} = \frac{\Phi_{bd}}{S_{bd}} = \frac{32}{0.12} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$\phi_{bn} = \frac{\Phi_{bn}}{S_{bn}} = \frac{6.4}{0.026} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
Noha	$\phi_{nd} = \frac{\Phi_{nd}}{S_{nd}} = \frac{8}{0.03} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$\phi_{nn} = \frac{\Phi_{nn}}{S_{nn}} = \frac{1.6}{0.006} = 266.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

Tab. č. 9 – Tepelný tok dolní končetiny

V Tab. č. 9 je výpočet tepelného toku končetiny. Dle výpočtů, můžeme říci, že odvod tepla bude z končetiny rovnoměrný.

Z těchto důvodů další výpočty budou prováděny pouze pro dospělého člověka při okolní teplotě 40°C, a to z důvodu zkrácení výpočtů. Při použití těchto výpočtů na chladicí panely pro malé děti, nebo při nižší okolní teplotě budeme vždy na straně bezpečnosti.

## 6.2. Průtok chladicí tekutiny

### 6.2.1. Určení objemového průtoku

Hmotnostní průtok chladicí tekutiny bude vypočten z tepelné bilanční rovnice:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Tepelný výkon bude z důvodu předimenzování odpovídat tepelnému toku dolní končetiny dospělého člověka:

$$\dot{Q} = \Phi_{kd} = 80 \text{ W} \quad (6)$$

Teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem z chladicích panelů a hadiček bude zvolen:

$$\Delta t = 1 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

Tepelná kapacita vody je:

$$c_{vody} = 4.19 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad [4](8)$$

Po úpravě dostaneme:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_{vody} \cdot \Delta t} = \frac{80}{4.19 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0.019 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

### 6.2.2. Určení objemového průtoku

Objemový průtok chladicí tekutiny bude vypočten z tepelné bilanční rovnice:

$$\dot{Q} = \rho_{vody} \cdot \dot{V} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \quad [\text{W}] \quad (10)$$

Po úpravě dostaneme:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho_{vody} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t} = \frac{80}{1000 \cdot 4.19 \cdot 10^3 \cdot 1} = 19.08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 68.8 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} \quad (11)$$

### 6.3. Rychlost tekutiny

**Obecný vztah tepelné bilance:**

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \quad [\text{W}] \quad [3] \quad (12)$$

kde je  $\dot{Q}$  - tepelný výkon dodávaný dolní končetinou [W],

$\dot{m}$  - hmotnostní průtok chladicí vody [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$c_{vody}$  - měrná tepelná kapacita vody [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],

$\Delta t$  - teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem z chladicích panelů [ $^{\circ}\text{C}$ ].

**Hmotnostní tok:**

$$\dot{m} = \frac{m}{\tau} \quad [\text{kg}] \quad (13)$$

kde je  $\dot{m}$  - hmotnostní průtok tekutiny [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$m$  - hmotnost tekutiny [kg],

$\tau$  - čas, za který proteče dané množství tekutiny [s].

**Hustota:**

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (14)$$

kde je  $\rho$  - hustota tekutiny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],

$m$  - hmotnost tekutiny [kg],

$V$  - objem tekutiny [ $\text{m}^3$ ].

**Objem:**

$$V = S_k \cdot s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \quad [\text{m}^3] \quad (15)$$

kde je  $V$  - objem tekutiny [ $\text{m}^3$ ],



- $S_k$  - průřez kanálu [ $\text{m}^2$ ],  
 $s$  - vzdálenost, na které se daná tekutina o daném objemu nachází [ $\text{m}$ ],  
 $d$  - průměr kanálu [ $\text{m}$ ].

### Rychlost tekutiny:

$$w = \frac{s}{\tau} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (16)$$

- kde je  $w$  - rychlost tekutiny [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $s$  - vzdálenost, na které se daná tekutina o daném objemu nachází [ $\text{m}$ ],  
 $\tau$  - čas, za který proteče dané množství tekutiny [ $\text{s}$ ].

Pokud dosadíme do rovnice  $w = \frac{s}{\tau} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$  (16) rovnice  $\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t$  [W] [3] (12) až  $\phi_1 = \alpha_1 \cdot (t_{pa1} - t_{vody})$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] (55) dostaneme rovnici pro rychlost tekutiny:

$$w = \frac{4 \cdot \dot{Q}}{\rho_{vody} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot d^2} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (17)$$

- kde je  $\dot{Q}$  - tepelný výkon dodávaný dolní končetinou [W],  
 $c_{vody}$  - měrná tepelná kapacita vody [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $\Delta t$  - teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem z chladicích panelů [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $d$  - průměr kanálu [ $\text{m}$ ].

Průměr kanálu v chladicím panelu bude volen odhadem:

$$d_{had} = 9 \text{ mm} = 0.009 \text{ m} \quad (18)$$

Vnitřní průměr hadičky, která kapalinu přivádí:

$$d_{pan} = 4.7 \text{ mm} = 0.0047 \text{ m} \quad (19)$$

Dosazení do rovnice  $w = \frac{4 \cdot \dot{Q}}{\rho_{vody} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot d^2}$  [m·s<sup>-1</sup>] ( 17 ):

Rychlost tekutiny v hadičce:

$$w_{had} = \frac{4 \cdot \dot{Q}}{\rho_{vody} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot d_{had}^2} = \frac{4 \cdot 80}{1000 \cdot 4.19 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 0.0047^2} = 1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} ( 20 )$$

Rychlost tekutiny v panelu:

$$w_{pan} = \frac{4 \cdot \dot{Q}}{\rho_{vody} \cdot c_{vody} \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot d_{pan}^2} = \frac{4 \cdot 80}{1000 \cdot 4.19 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 0.009^2} = 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} ( 21 )$$

## 6.4. Typ proudění

Určení Reynoldsova kritéria

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad [-] \quad [4] (22)$$

kde je Re - Reynoldsovo kritérium [-]

$w$  - rychlost tekutiny [ $m \cdot s^{-1}$ ],

$d$  - průměr [m],

$\nu$  kinematická viskozita [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

Velikost kinematické viskozity vody:

$$\nu_{vody} = 1.789 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad [4] (23)$$

Druh proudění:

$Re < 2300 \Rightarrow \text{la minární}$

$Re > 2300 \Rightarrow \text{turbulentní}$

[4] (24)

Výpočet Reynoldsova kritéria pro hadičky:

$$Re_{had} = \frac{w_{had} \cdot d_{had}}{\nu_{vody}} = \frac{1.1 \cdot 0.0047}{1.789 \cdot 10^{-6}} = 2889 \quad [-] \quad (25)$$

Dle rovnice  $Re < 2300 \Rightarrow \text{la minární}$

$Re > 2300 \Rightarrow \text{turbulentní}$

[4] (24) bude v chladicích panelech proudění

**turbulentní.**  $\phi_1 = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot (t_p - t_{pa1}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (54)$

Výpočet Reynoldsova kritéria pro kanály v panelech:

$$Re_{pan} = \frac{w_{pan} \cdot d_{pan}}{v_{vody}} = \frac{0.3 \cdot 0.009}{1.789 \cdot 10^{-6}} = 1509 \text{ [-]} \quad (26)$$

Dle rovnice  $Re < 2300 \Rightarrow \text{la minární}$  [4] ( 24 ) bude v chladicích panelech proudění  
 $Re > 2300 \Rightarrow \text{turbulentní}$

**laminární.**  $\phi_1 = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot (t_p - t_{pa1}) \text{ [ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ ]}$  ( 54 )

## 6.5. Součinitelé přestupu tepla

### 6.5.1. Výpočet součinitele přestupu tepla z chladicí tekutiny do hadiček

a) Určení Prandtlova kritéria

$$Pr = 13.954 \text{ [-]} \quad [4] ( 27 )$$

b) Určení součinitele přestupu tepla konvekci

Při výpočtu součinitele přestupu tepla vycházíme z Nusseltova kritéria:

$$Nu = \frac{\alpha_1 \cdot d_{pan}}{\lambda_{vody}} \text{ [-]} \quad [4] ( 28 )$$

kde je  $Nu$  - Nusseltovo kritérium [-]

$w$  - rychlost tekutiny  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ ,

$\alpha_1$  - součinitel přestupu tepla  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ ,

$\lambda_{vody}$  součinitel tepelné vodivosti vody  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Součinitel tepelné vodivosti byl odečten z tabulek:

$$\lambda_{vody} = 0.555 \text{ [ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ ]} \quad [4] ( 29 )$$

Jelikož je teplo odebíráno pouze z části kanálu, která je v kontaktu s pokožkou je volen výpočet Nusseltova kritéria pro turbulentní proudění podél rovinné desky:

$$Nu_{had} = 0.021 \cdot Re_{had}^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right) [-] \quad [4] (30)$$

Jelikož teplotní spád je v hadičkách minimální můžeme rovnici

$$Nu_{had} = 0.021 \cdot Re_{had}^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right) [-] \quad [4] (30) \text{ zjednodužit:}$$

$$Nu_{had} = 0.021 \cdot Re_{had}^{0.8} \cdot Pr^{0.43} [-] \quad (31)$$

$$Nu_{had} = 0.021 \cdot Re_{had}^{0.8} \cdot Pr^{0.43} = 0.021 \cdot 2889^{0.8} \cdot 1354^{0.43} = 273.79 [-] \quad (32)$$

Z vypočteného Nuseltova kriteria je vypočten součinitel přestupu tepla:

$$\alpha_{had} = \frac{Nu_{had} \cdot \lambda_{vody}}{d_{had}} = \frac{273.79 \cdot 0.555}{0.0047} = 32343.51 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (33)$$

### 6.5.2. Výpočet součinitele přestupu tepla ze stěn chladicích panelů do tekutiny

Určení součinitele přestupu tepla konvekci

Při výpočtu součinitele přestupu tepla vycházíme z Nuseltova kriteria:

$$Nu = \frac{\alpha_1 \cdot d_{pan}}{\lambda_{vody}} [-] \quad [4] (34)$$

kde je  $Nu$  - Nuseltovo kritérium [-]

$w$  - rychlost tekutiny [ $m \cdot s^{-1}$ ],

$\alpha_1$  - součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$\lambda_{vody}$  - součinitel tepelné vodivosti vody [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

Součinitel tepelné vodivosti byl odečten z tabulek:

$$\lambda_{vody} = 0.555 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad [4] \text{ ( 35 )}$$

Jelikož je teplo odebíráno pouze z části kanálu, která je v kontaktu s pokožkou je volen výpočet Nuseltova kriteria pro turbulentní proudění podél rovinné desky:

$$Nu = 0.67 \cdot \text{Re}_{pan}^{0.5} \cdot \text{Pr}^{0.33} [-] \quad [4] \text{ ( 36 )}$$

$$Nu = 0.67 \cdot \text{Re}_{pan}^{0.5} \cdot \text{Pr}^{0.33} = 0.67 \cdot 1509^{0.5} \cdot 13.954^{0.33} = 62.11 [-] \quad ( 37 )$$

Z vypočteného Nuseltova kriteria je vypočten součinitel přestupu tepla:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_{vody}}{d_{pan}} = \frac{62.11 \cdot 0.555}{0.009} = 3830.12 [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad ( 38 )$$

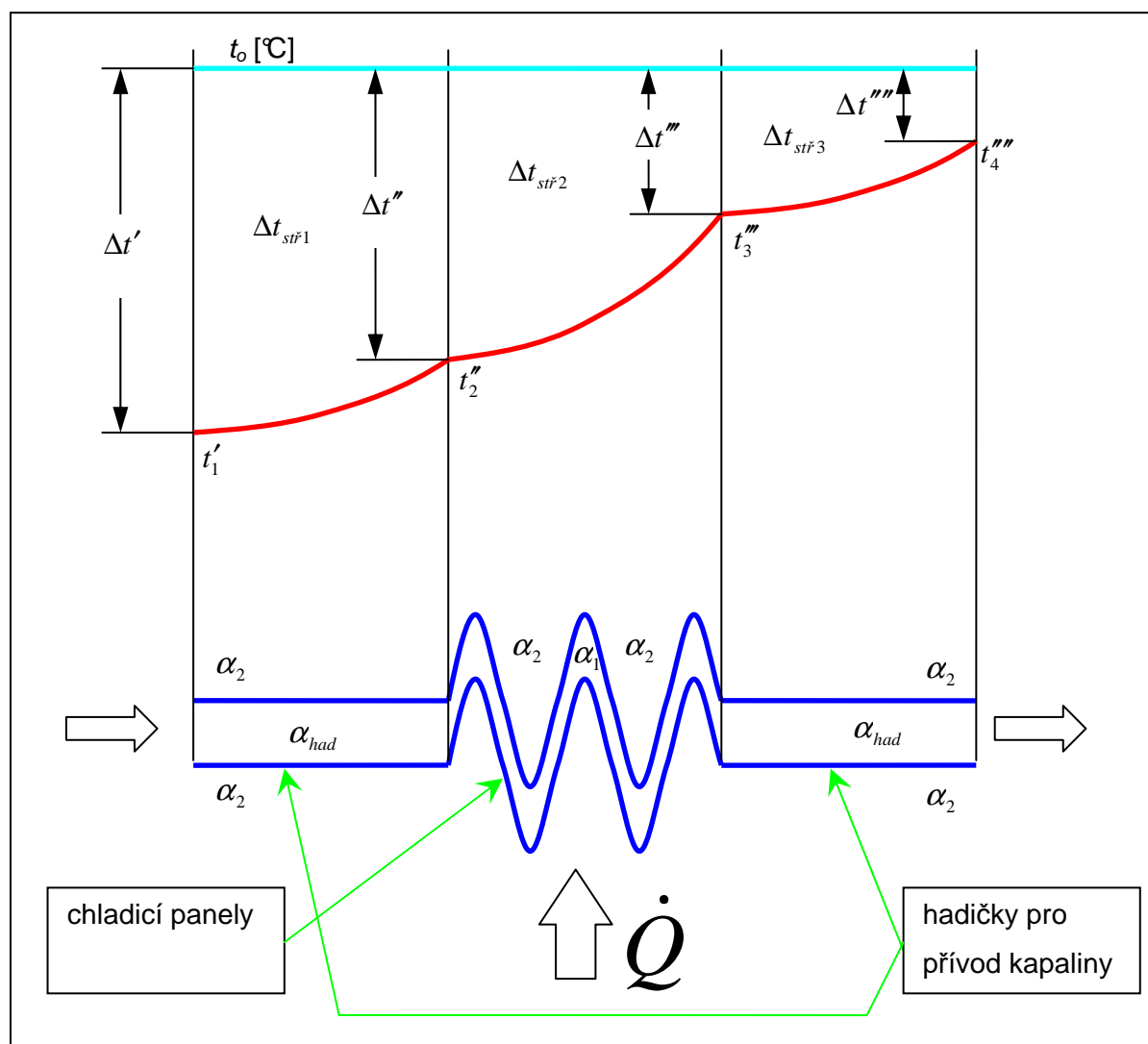
### 6.5.3. Určení součinitele přestupu tepla z okolního prostředí na stěny izolace chladicích panelů a hadičky

Součinitel přestupu tepla z okolí byl nalezen v literatuře a převzat z výpočtů tepelných ztrát staveb.

$$\alpha_2 = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad [3] \text{ ( 39 )}$$

## 6.6. Teplotní rozbor chladicí kapaliny

Výpočet chladicího systému odpovídá tepelnému výměníku



Obr. č. 26 – Rozbor teplot při chlazení proudící kapaliny

### 6.6.1. Tepelná bilance vstupní hadičky

Lineární součinitel prostupu tepla:

$$k_{had} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{had} \cdot d_{had}} + \frac{\ln \frac{d_{had2}}{d_{had}}}{2 \cdot \lambda} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{had2}}} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (40)$$

$$k_{had} = \frac{\pi}{\frac{1}{32343.51 \cdot 0.0047} + \frac{\ln \frac{0.006}{0.0047}}{2 \cdot 0.168} + \frac{1}{10 \cdot 0.006}} = 0.180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (41)$$

Plocha hadičky:

$$S_{had} = \pi \cdot \frac{d_{had2} + d_{had}}{2} \cdot \frac{l_{had}}{2} = \pi \cdot \frac{0.006 + 0.0047}{2} \cdot \frac{4.3}{2} = 0.04 \text{ m}^2 \quad (42)$$

Výpočet středních teplot:

$$\Delta t' = t_o - t_1' \quad (43)$$

$$\Delta t'' = t_o - t_2'' \quad (44)$$

$$\Delta t_{stř1} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \quad (45)$$

Základní tvar tepelné bilance:

$$\dot{m} \cdot c_{vody} \cdot (t_2'' - t_1') = k_{had} \cdot S_{had} \cdot \Delta t_{stř1} \quad (46)$$

Výpočet teploty vystupující kapaliny z hadičky:

$$\dot{m} \cdot c_{vody} \cdot (t_2'' - t_1') = k_{had} \cdot S_{had} \cdot \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \quad (47)$$

$$\dot{m} \cdot c_{vody} \cdot (t_2'' - t_1') = k_{had} \cdot S_{had} \cdot \frac{(t_o - t_1') - (t_o - t_2'')}{\ln \frac{(t_o - t_1')}{(t_o - t_2'')}} \quad (48)$$

$$\dot{m} \cdot c_{vody} \cdot \ln \frac{(t_o - t_1')}{(t_o - t_2'')} = k_{had} \cdot S_{had} \quad (49)$$

$$\frac{(t_o - t_1')}{(t_o - t_2'')} = e^{\frac{k_{had} \cdot S_{had}}{\dot{m} \cdot c_{vody}}} \quad (50)$$



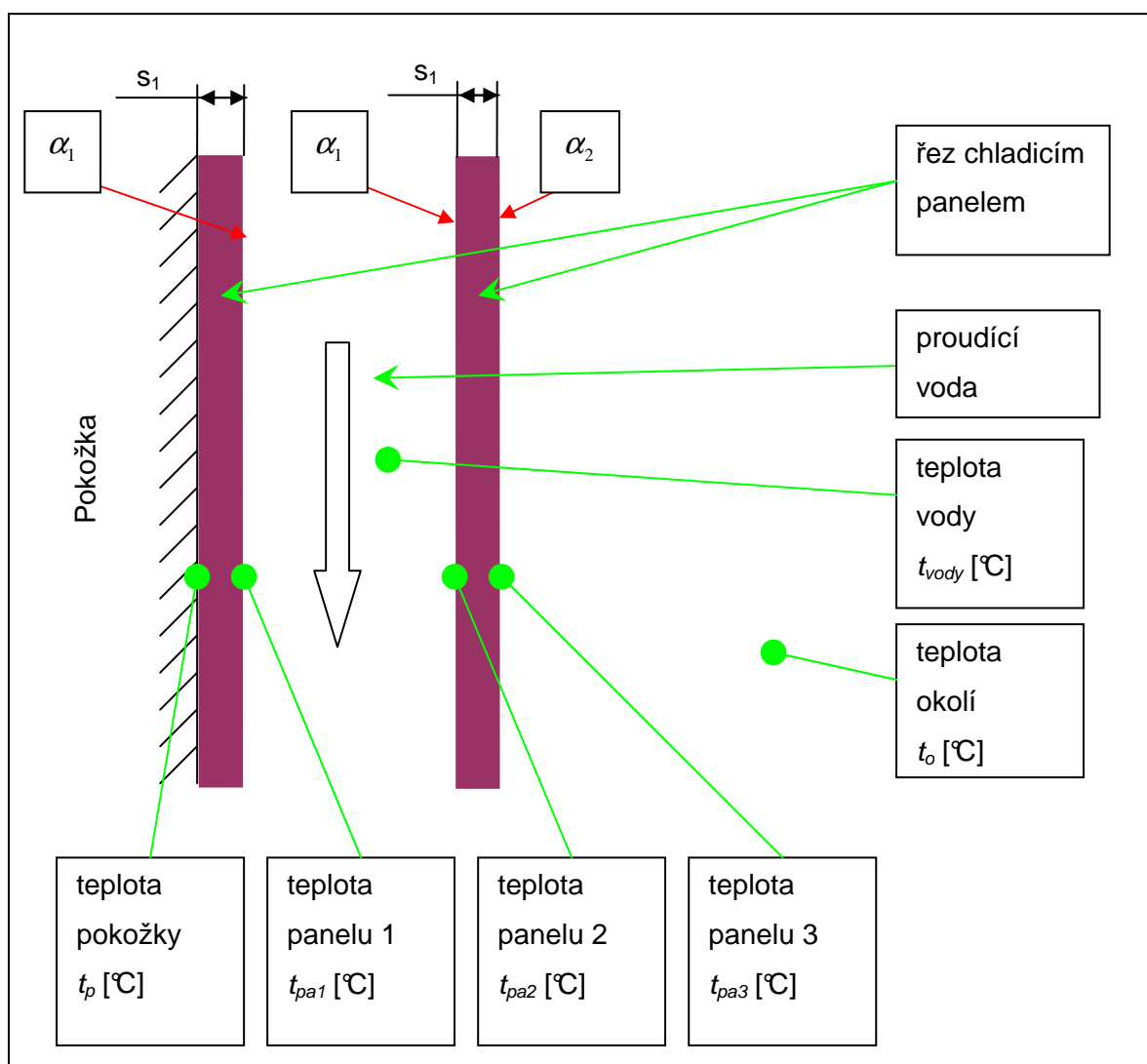
$$\frac{(t_o - t_1')}{\frac{k_{had} \cdot S_{had}}{e^{\dot{m} \cdot c_{vody}}}} = t_o - t_2'' \quad (51)$$

$$t_2'' = t_o - \frac{(t_o - t_1')}{\frac{k_{had} \cdot S_{had}}{e^{\dot{m} \cdot c_{vody}}}} = 40 - \frac{(40 - 6)}{\frac{0.180 \cdot 0.04}{e^{0.019 \cdot 4190}}} = 6.03 [^{\circ}\text{C}] \quad (52)$$

Ztrátový výkon na jedné hadičce je:

$$\Phi_2 = \dot{m} \cdot c_{vody} \cdot (t_2'' - t_1') = 0.019 \cdot 4190 \cdot (6.03 - 6) = 2.38 \text{ W} \quad (53)$$

Jelikož ztráty v hadičce jsou vzhledem k předdimenzování chladicího výkonu zanedbatelné, další výpočty budou provedeny zjednodušeně. Zjednodušení předpokládá, že se nejedná o výměník, teplota kapaliny je v celém průřezu konstantní a úbytek teploty je také ignorován.



Obr. č. 27 – Rozbor teplot při chlazení proudící kapaliny

### 6.6.2. Tepelný tok z pokožky do tekutiny

Na Obr. č. 27 je podrobněji rozpracovaný přechod tepla z pacientovy pokožky na do chladicí tekutiny.

a) Tok tepla skrz vnitřní stěnu chladicího panelu

$$\phi_1 = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot (t_p - t_{pa1}) \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \text{]} \quad (54)$$

b) Tok tepla z vnitřní stěny chladicího panelu do proudící tekutiny

$$\phi_1 = \alpha_1 \cdot (t_{pa1} - t_{vody}) \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \text{]} \quad (55)$$

c) Výpočet teploty na stěně panelu

$$\phi_1 = \alpha_1 \cdot (t_{pa1} - t_{vody}) \Rightarrow t_{pa1} = \frac{\phi_1}{\alpha_1} + t_{vody} = \frac{266.6}{21572.85} + 6 = 6.07 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (56)$$

d) Výpočet tloušťky stěny panelu

$$s_1 = \frac{\lambda_1}{\phi_1} (t_p - t_{pa1}) \text{ [m]} \quad (57)$$

Materiál na chladicí panel bude použita PVC folie, jejíž součinitel tepelné vodivosti je:

$$\lambda_1 = 0.168 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad [11] \quad (58)$$

$$s_1 = \frac{\lambda_1}{\phi_1} (t_p - t_{pa1}) = \frac{0.168}{266.6} (6.5 - 6.07) = 0.0003 \text{ m} = 0.3 \text{ mm} \quad (59)$$

e) Velikost teploty při nulovém tepelném toku z dolní končetiny

$$t_p = \frac{s_1 \cdot \phi_1}{\lambda_1} + t_{pa1} = \frac{0.0003 \cdot 0}{0.168} + 6.07 = 6.07 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (60)$$

### 6.6.3. Tepelný tok z okolí do chladicí tekutiny

a) Tok tepla z vnějšího okolí na povrch chladicího panelu

$$\phi_3 = \alpha_2 \cdot (t_o - t_{pa3}) [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (61)$$

b) Tok tepla skrz vnější stěnu chladicího panelu

$$\phi_3 = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot (t_{pa3} - t_{pa2}) [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (62)$$

c) Tok tepla z vnitřní stěny chladicího panelu do proudící tekutiny

$$\phi_3 = \alpha_1 \cdot (t_{pa2} - t_{vody}) [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (63)$$

d) Velikost tepelného toku

$$\phi_3 = k \cdot (t_o - t_{vody}) [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (64)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\lambda_1}{s_1} + \frac{1}{\alpha_1}} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (65)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.168}{0.003} + \frac{1}{21572.85}} = 0.017 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (66)$$

$$\phi_3 = k \cdot (t_o - t_{vody}) = 0.017 \cdot (40 - 6) = 0.58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (67)$$

e) Ztrátový tepelný výkon na panelech

$$\Phi_3 = \phi_3 \cdot S_{kd} = 0.58 \cdot 0.3 = 0.17 \text{ W} \quad (68)$$

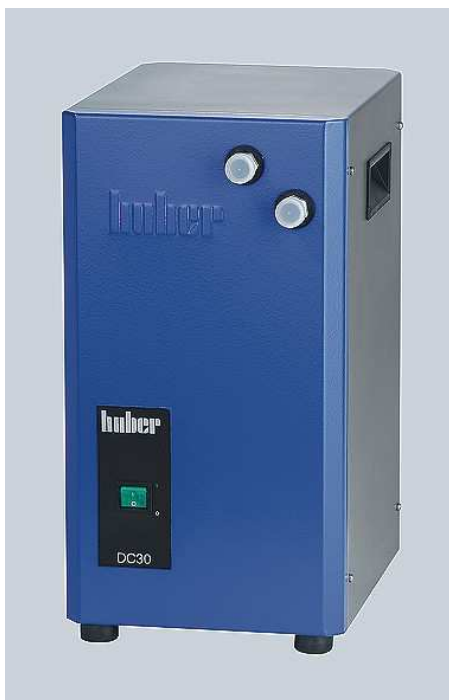
#### 6.6.4. Minimální požadovaný chladicí výkon

Při návrhu chladiče chladicí tekutiny je nutno počítat jak s potřebným chlazením tak i se strátami.

$$\Phi_{\min} = \Phi_{kd} + \Phi_2 + 2 \cdot \Phi_3 = 80 + 0.174 + 2 \cdot 38 = 84.93 \text{ W} \quad (69)$$

#### Chladicí zařízení pro stacionární využití

Z hlediska chlazeného výkonu by mohlo vyhovovat průtokové chladič DC 30. Přístroj se často používají jako protichlazení pro termostaty s lázní a připojují se přes jejich čerpadlo (průtokové chladiče nemají vlastní čerpadlo). Při externím temperování se DC chladič zařazuje do zpětného ramene externího okruhu termostatu. [7]



Obr. č. 28 – Průtokový chladič [7]

#### Technické údaje:

- Objednací číslo:	398 005 740 002
- Typ:	DC30
- Teplotní rozsah	- 30 ... 50[°C]
- Chladicí výkon při 15°C	0.2[kW]
- Chladicí výkon při 0°C	0.15[kW]
- Chladicí výkon při -20°C	0.07[kW] [7]

## 6.7. Tlak čerpadla

### 6.7.1. Určení tlaku čerpadla dle ztrát

Čerpadlo musí překonat ztrátový tlak v hadičkách a chladicích panelech.

$$p_{\dot{c}} = p_{zhad} + p_{zpan} \text{ [Pa]} \quad (70)$$

kde je  $p_{\dot{c}}$  - tlak čerpadla [Pa],

$p_z$  - ztrátový tlak v hadičkách [Pa].

$p_z$  - ztrátový tlak v panelech [Pa].

### 6.7.2. Určení tlaku čerpadla při spuštění

Pokud zapneme chladicí systém a chladicí panely jsou výše než chladicí agregát, je nutné, aby čerpadlo bylo schopno kapalinu do dané výšky vytlačit. Když už zařízení běží, vratná hadička je již zaplněná a tlaky se vyrovnají

$$p_g = h \cdot g \cdot \rho_{vody} \text{ [Pa]} \quad [4](71)$$

kde je  $p_g$  - geometrický tlak [Pa],

$h$  - výškový rozdíl [m],

$g$  - gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ],

$\rho_{vody}$  - hustota vody [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Výškový rozdíl mezi chladicím zařízením a chladicím panelem volíme:

$$h = 1.5 \text{ m} \quad (72)$$

Vypočtení geometrického tlaku:

$$p_g = h \cdot g \cdot \rho_{vody} = 1.5 \cdot 9.81 \cdot 1000 = 14715 \text{ [Pa]} \quad (73)$$

### 6.7.3. Určení ztrátového tlaku v hadičkách

Tlaková ztráta třením se vypočítá:

$$p_z = \Lambda \cdot \frac{l}{d_{had}} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho_{vody}}{2} \text{ [Pa]} \quad [4] (74)$$

kde je  $\Lambda$  - součinitel tření [-],

$l$  - délka hadiček [m],

$d_{had}$  - průměr hadičky [m],

$w$  - rychlost tekutiny [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$\rho_{vody}$  - hustota vody [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Celková délka hadiček:

$$l_{had} = 4.3 \text{ m} \quad (75)$$

Určení součinitele tření  $\Lambda$

$$\Lambda = \frac{A}{\text{Re}^n} \text{ [-]} \quad [4] (76)$$

kde je  $A$  - součinitel [-],

$n$  - součinitel [-].

Součinitele pro určení součinitele tření  $\Lambda$  určíme pro turbulentní proudění v hladkém potrubí:

$$A = 0.316 \text{ [-]} \quad [4] (77)$$

$$n = 0.25 \text{ [-]} \quad [4] (78)$$

Určení součinitele tření  $\Lambda_{had}$  (turbulentní proudění)

$$\Lambda_{had} = \frac{A}{\text{Re}_{had}^n} = \frac{0.316}{2 \cdot 889^{0.25}} = 0.043 \text{ [-]} \quad (79)$$

Určení ztrátového tlaku v hadičkách, které považujeme za hladké potrubí:

$$p_{zhad} = \Lambda \cdot \frac{l}{d_{had}} \cdot \frac{w_{had}^2 \cdot \rho_{vody}}{2} = 0.043 \cdot \frac{4}{0.0047} \cdot \frac{1.1^2 \cdot 1000}{2} = 22140 \text{ Pa} \quad (80)$$

#### 6.7.4. Určení ztrátového tlaku v panelech

Pro zjednodušení výpočtu ztrátového tlaku nahradíme chladicí panely potrubím s kruhovým průřezem, které se skládá z rovných úseků a ostrých zaoblení.

$$p_{zpan} = \left( \zeta_c + \Lambda_{pan} \frac{l_{pan}}{d_{pan}} \right) \cdot \frac{w_{pan}^2 \cdot \rho_{vody}}{2} \text{ [Pa]} \quad (81)$$

kde je  $\zeta_c$  - celkový součinitel místních ztrát [-],

$l_{pan}$  - délka rovných úseků v panelu [m].

Celkový součinitel místních ztrát:

$$\zeta_c = n_{90} \cdot \zeta_{90} + n_{180} \cdot \zeta_{180} \quad (82)$$

kde je  $n_{90}$  - počet zaoblení o úhlu 90° [-],

$n_{180}$  - počet zaoblení o úhlu 180° [-],

$\zeta_{90}$  - součinitel místních ztrát zaoblení o úhlu 90° [-],

$\zeta_{180}$  - součinitel místních ztrát zaoblení o úhlu 180° [-].

Hodnoty délek byly převzaty z 3d modelu.

	Bércový a stehení panel	Nožní panel	celkem
$n_{90}$	4	6	10
$n_{180}$	36	27	63
$l_{pan}$	12 m	2.5 m	14.5m

Tab. č. 10 – Parametry panelů

Určení místních ztrát pro ostré zaoblení



$$\zeta = A \cdot B_3 \cdot C \text{ [-]} \quad [4] \text{ ( 83 )}$$

Hodnoty A,B,C byly zjištěny z diagramu literatury [4]

	$\zeta_{90}$	$\zeta_{180}$
A	1	1.3
$B_3$	0.22	0.22
C	1	1

**Tab. č. 11 – Součinitelé pro určení součinitelů ztrát**

$$\zeta_{90} = A_{90} \cdot B_3 \cdot C = 1 \cdot 0.22 \cdot 1 = 0.22 \text{ [-]} \quad ( 84 )$$

$$\zeta_{180} = A_{180} \cdot B_3 \cdot C = 1.3 \cdot 0.22 \cdot 1 = 0.29 \text{ [-]} \quad ( 85 )$$

Celkový součinitel místních ztrát:

$$\zeta_c = n_{90} \cdot \zeta_{90} + n_{180} \cdot \zeta_{180} = 10 \cdot 0.22 + 63 \cdot 0.29 = 20.47 \text{ [-]} \quad ( 86 )$$

Určení součinitele tření  $\Lambda_{pan}$

$$\Lambda_{pan} = \frac{A}{Re_{pan}} = \frac{0.316}{1509} = 0.00021 \text{ [-]} \quad ( 87 )$$

Celkový ztrátový tlak v panelech

$$p_{zpan} = \left( \zeta_c + \Lambda_{pan} \frac{l_{pan}}{d_{pan}} \right) \cdot \frac{w_{pan}^2 \cdot \rho_{vody}}{2} = \left( 20.47 + 0.00021 \cdot \frac{14.5}{0.009} \right) \cdot \frac{0.3^2 \cdot 1000}{2} =$$

$$= 936 \text{ Pa} \quad ( 88 )$$

#### 6.7.5. Vypočtení tlaku čerpadla:

$$p_{\check{c}} = p_{zhad} + p_{zpan} = 22140 + 936 = 23076 \text{ Pa} \quad ( 89 )$$

Přepočet na tlak vodního sloupce:

$$h_{\text{vody}} = \frac{p_{\text{č}}}{\rho_{\text{vody}} \cdot g} = \frac{23076}{1000 \cdot 9.81} = 2.35 \text{ m} \quad (90)$$

Jelikož požadavek na průtok je malý, stačí na pohanění chladicí kapaliny pumpa určená k chlazení počítačů např.: Laing DDC 12V DDC-1T Pump



Obr. č. 29 - Pumpa

#### Technické údaje:

- rozměry:	62x62x38mm
- napájecí napětí:	12V (funkční s 6-13.2V)
- spotřeba:	11W
- průtok	420l/h]
- max. výtlač (při 12V)	3.7m
- max. provozní teplota	60°C
Instalační konektory	2x výstup pro 3/8" hadici

## 6.8. Množství ledu pro chlazení

Pokud budeme chtít používat toto zařízení v mobilních prostředcích, bude využito spotřebovávání latentního tepla při tání ledu.

$$Q_l = \Phi_{\min} \cdot \tau_{chl} \quad (91)$$

kde je  $Q_l$  - potřebné latentní teplo [J]

$\tau_{chl}$  - doba chlazení [s],

Časy pro přednemocniční péči jsou dojezd do 15 minut na místo zásahu, další časy povinné nejsou a pobyt na místě s transportem pacienta může trvat od 5 min klidně do jedné hodiny. [10]

Z těchto důvodů volím dobu chlazení 2 hod.

$$\tau_{chl} = 2 \text{ hod} = 7200 \text{ s} \quad (92)$$

Výpočet potřebného tepla:

$$Q_l = \Phi_{\min} \cdot \tau_{chl} = 80.17 \cdot 7200 = 577224 \text{ J} \quad [5] (93)$$

Měrné skupenské teplo tání je teplo, které přijme 1 kilogram pevné látky, jestliže se za teploty tání celý přemění na kapalinu téže teploty[5]. Měrné skupenské teplo ledu je:

$$l_t = 334\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (94)$$

Množství ledu potřebného pro chlazení:

$$m_{ledu} = \frac{Q_l}{l_t} = \frac{577224}{334000} = 1.72 \text{ kg} \quad (95)$$

Tento výpočet je pouze orientační, v praxi bude nutné množství ledu navýšit o ztráty, které toto zařízení bude mít.

## Závěr

Léčebná metoda mírné hypotermie je v dnešní době lékařský trend. V současné době nejsou zařízení pro léčebnou hypotermii až tak moc rozšířená, spíše se nacházejí pouze ve větších nemocnicích a v přednemocniční péči se objevují jen zřídka.

Z těchto důvodů je nutné rozvíjet vědomosti léčebné hypotermie nejen po stránce lékařské, ale je nutné rozvíjet i vědomosti o zařízeních určených pro tuto léčebnou metodu. Nejdůležitější vědomosti pro technika navrhujícího takovéto zařízení je seznam požadavků, které budou na daný systém kladeny.

V pokynech mé bakalářské práce se bylo zaměřit na chladicí principy. Základní principy jsou vyobrazeny a popsány v rešeršní části této práce. Zabýval jsem se i prostudováním jiných chladicích principů, než jsou zde uvedeny (peltierův článek umístěný přímo na pokožce, chlazení kapalným dusíkem, suchým ledem, chlazení vypařováním), ovšem žádný z těchto principů neměl žádné výhody, které by vyvážily jejich technické komplikace.

Já jsem se zabýval návrhem zařízení pro lokální chlazení dolní končetiny. Princip byl volen proudící tekutina odebírající teplo z pokožky. Tato volba byla zvolena z důvodu dobrých zkušeností z praxe, kde takovéto chladicí systémy již delší dobu pracují.

V příloze této práce je výrobní výkres chladicích panelů, které by fungovali společně s vyspecifikovaným průtokovým chladičem (nebo zásobami ledu) a čerpadlem. Pokud byl tento chladicí systém realizován do fáze prototypu, musel by jej pro práci ve zdravotnictví schválit SÚKL (Státní úřad pro kontrolu léčiv)

Přenosové médium:	voda
Teplota média na vstupu:	6°C
Teplota média na výstupu:	7°C
Teplota pokožky na stehně:	6.5°C
Teplota pokožky na noze (chodidle):	7.5°C
Požadovaný průtok média:	70l/h
Požadovaný tlak čerpadla	2.4m vodního sloupce
Uchycení hadiček	rychlospojky
Vnější průměr hadiček	6 mm
Vnitřní průměr hadiček	4.7 mm

Tab. č. 12 Parametry chladicích panelů:

## Seznam literatury

- [1] *Pasivní domy*. [online]. [citováno 25. 04. 2009]. Dostupný z WWW:  
<http://www.tesarstvittj.cz/drevodomky.htm>
- [2]. Wikipedie, *Podchlazení* [online]. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hypotermie> [cit.16.12.2008]
- [3]. Kadlece, Z.,: *Návody do cvičení: Termomechanika.*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-912-3
- [4]. Vomočil, Z.,: *Cvičení do sdílení tepla a proudění.*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2000, 1. vydání, ISBN 80-7078-793-7
- [5]. Wikipedie: *Otevřená encyklopedie: Měrné skupenské teplo tání* [online]. c2008 [citováno 10. 05. 2009]. Dostupný z WWW:  
[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C4%9Brn%C3%A9\\_skupensk%C3%A9\\_teplo\\_t%C3%A1n%C3%AD&oldid=3089630](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C4%9Brn%C3%A9_skupensk%C3%A9_teplo_t%C3%A1n%C3%AD&oldid=3089630)
- [6]. Wikipedie: *Otevřená encyklopedie: Kůže* [online]. c2009 [citováno 29. 04. 2009]. Dostupný z WWW:  
<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=K%C5%AF%C5%BEE&oldid=3880704>
- [7]. Merci *Přístroje pro chlazení* [citováno 5. 05. 2009]. Dostupný z WWW:  
[http://www.merci.cz/katalog/pristroje-pro-ohrev-a-chlazení/235\\_prutokove-chladice-termostatove-lazne-pro-viskozimetry](http://www.merci.cz/katalog/pristroje-pro-ohrev-a-chlazení/235_prutokove-chladice-termostatove-lazne-pro-viskozimetry)
- [8]. POLYMED medical CZ, a.s., *Vodní systémy* [online]. c2008 [citováno 31. 03. 2009]. Text v angličtině. Dostupný z WWW:  
<http://www.polymed.cz/cz/pristrojova-technika/vodni-systemy/>
- [9]. EMCOOLS, [online]. [citováno 31. 03. 2009]. Dostupný z WWW:  
<http://www.emcools.com/?en/03/02>
- [10]. ŠKULEC, R. Časy pro přednemocniční péči. Ústní sdělení. Beroun, 2009-3-12.
- [11]. Vlastnosti vláken [online]. [citováno 10. 05. 2009]. Dostupný z WWW:  
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska3.pdf>
- [12]. Sarlandière, Jean-Baptiste . *Anatomie méthodique, ou Organographie humaine en tableaux synoptiques, avec figures. A l'usage des universités, pour les facultés et écoles de médecine et de chirurgie, les académies de peinture et de sculpture, et les collèges royaux.* Paris: Chez les libraires de médecine et chez l'auteur 1829. Dostupný z WWW:  
[http://www.nlm.nih.gov/exhibition/historicalanatomies/Images/1200\\_pixels/sarland\\_p12.jpg](http://www.nlm.nih.gov/exhibition/historicalanatomies/Images/1200_pixels/sarland_p12.jpg)
- [13]. Janečková Tereza, ZZS Středočeského kraje, *Rychlé podchlazení pacienta* [online]. Html [katastrofy.com] 16.7.2007 [cit.20.10.2007] Záchranáři poprvé rychle podchládili pacienta. Dostupné na World Wide Web:  
[http://www.katastrofy.com/scripts/index.php?id\\_nad=8181](http://www.katastrofy.com/scripts/index.php?id_nad=8181)
- [14] HUBKA, V. *Konstrukční nauka*. Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

- [15] NOGA, Z. *Rozsah teplot pro činnost zařízení* . Ústní sdělení. Ostrava, 2009-3-26.
- [16] NOGA, Z. *Minimální teplota pokožky*. Ústní sdělení. Ostrava, 2009-3-26.
- [17]. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Stefanův-Boltzmannův zákon* [online]. c2009 [citováno 1. 04. 2009]. Dostupný z WWW:  
[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Stefan%C5%AFv-Boltzmann%C5%AFv\\_z%C3%A1kon&oldid=3798466](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Stefan%C5%AFv-Boltzmann%C5%AFv_z%C3%A1kon&oldid=3798466)
- [18]. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Vypařování* [online]. c2008 [citováno 31. 03. 2009]. Dostupný z WWW:  
<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Vypa%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD&oldid=3425780>
- [19]. NOGA, Z. *Zjednodušený předpoklad nahrazení vlastností krve vlastnostmi vody* . Ústní sdělení. Ostrava, 2008-10-12.
- [20]. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Měrná tepelná kapacita* [online]. c2009 [citováno 28. 03. 2009]. Dostupný z WWW:  
[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C4%9Brn%C3%A1\\_tepeln%C3%A1\\_kapacita&oldid=3605645](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C4%9Brn%C3%A1_tepeln%C3%A1_kapacita&oldid=3605645)
- [21]. Škulec Roman et al., *Mírná hypotermie v PNP* [online]. Html [Uzemní středisko záchranne služby Středočeského kraje] 2007 [cit.12.3.2008] Projekt indukce mírné hypotermie v PNP. Dostupné na World Wide Web: <http://www.uszssk.cz/index.php?mid=89&msid=21>
- [22]. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Specifická hmotnost krve* [online]. c2008 [citováno 28. 03. 2009]. Dostupný z WWW:  
[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Specifick%C3%A1\\_hmotnost\\_krve&oldid=3352442](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Specifick%C3%A1_hmotnost_krve&oldid=3352442)
- [23]. KOLÁŘ, J. ET AL. *Kardiologie pro sestry intenzivní péče*. Praha: Akcenta, 1998. ISBN 80-86232-00-X.
- [24]. ŠKULEC, R. *Popis funkce termoregulace nohy*. Ústní sdělení. Beroun, 2009-3-12.
- [25]. *Wikipedie, Obrázek File:Gray432.png* [online]., [cit.24. 3.2009] . Dostupný z WWW:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Thigh>.
- [26]. *Wikipedie, Obrázek Blutkreislauf.png* [online]., [cit.10. 3.2009] . Dostupný z WWW:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Blutkreislauf.png#file>.
- [27]. *Wikipedie, Thermoregulation* [online]., [cit.10. 3.2009] Text v angličtině. Dostupný z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation#cite\\_note-Body\\_Temp\\_Records-19](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation#cite_note-Body_Temp_Records-19).
- [28]. DJ ORTHOPEDICS. *Flexible multijoint therapeutic pads*. Inventors: RICHARD, Eargle Gildersleeve. Int.Cl.: C22B 007/00. *United States Patent*, 6 117 164. 2000-9-12
- [29]. THE BOARD OF REGENTS OF THE UNIVERSITY OF TEXAS. *Heat transfer blanket for and method of controlling a patient's temperature*

- [30]. FOLKARD, Claire. *Excerpt: Humans, Body Extremes*. Folkard, Claire; 1st edition. [s.l.] : Random House, 2004. 576 s. ISBN 9780553587128.
- [31]. Bosch Rexroth , *Katalog pneumatiky, Proudové a uzavírací ventily* [online]., [cit.17. 5.2009] Dostupný z WWW: [www.boschrexroth.com/pneumatics-catalog/content/allplatforms/vornavigation/xmedia/internet/cs/pdf/PDF\\_g58970\\_cs.pdf](http://www.boschrexroth.com/pneumatics-catalog/content/allplatforms/vornavigation/xmedia/internet/cs/pdf/PDF_g58970_cs.pdf)
- [32]. Bosch Rexroth , *Katalog pneumatiky, Hadice stlačeného vzduchu* [online]., [cit.17. 5.2009] Dostupný z WWW: <http://www.boschrexroth.com/pneumatics-catalog/Vornavigation/VorNavi.cfm?PageID=p32001&Language=cs>
- [33]. PLASTICPORT, *Měkčené PVC* [online]., [cit.17. 5.2009] Dostupný z WWW: <http://www.plasticport.cz/index.php?opened=-1,2.&id=22>
- [34]. PLASTICPORT, *Měkčené PVC* [online]., [cit.17. 5.2009] Dostupný z WWW: <http://www.plasticport.cz/index.php?opened=-1,2.&id=22>
- [35]. UHU, *UHU weich PVC* [online]., [cit.17. 5.2009] Dostupný z WWW: [http://www.uhu.cz/specialni-lepidla\\_uhu-weich-pvc](http://www.uhu.cz/specialni-lepidla_uhu-weich-pvc)
- [36]. PVC, *PVC Strength* [online]., [cit.17. 5. 2009] Text v angličtině. Dostupný z WWW: <http://www.pvc.org/PVC.org/What-is-PVC/PVC-s-physical-properties/PVC-Strength>
- [37] ČIHÁK, R. *Anatomie 1*. Grada, 2003. 469s. ISBN 80-7169-970-5

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 – Chladicí přístroj na vodu [8].....	12
Obr. č. 2 – Chladicí matrace [8] .....	14
Obr. č. 3 – Aplikace chladicí matrace [8].....	14
Obr. č. 4 –Panely pro chlazení celého těla [29].....	14
Obr. č. 5 - Zařízení pro chlazení celého těla [29].....	15
Obr. č. 6 – Vzduchový chladicí přístroj [8].....	15
Obr. č. 7 – Chladicí panely EMCOOLSpad [9]. .....	16
Obr. č. 8 – Aplikace chladicích panelů EMCOOLSpad [9]. .....	17
Obr. č. 9 – Teploměr EMCOOLStemp [9].....	17
Obr. č. 10 – Funkční struktura (terminologie a schémata přebrána z [14]).....	19
Obr. č. 11 – Orgánová struktura (terminologie a schémata přebrána z [14]) .....	21
Obr. č. 12 – Stavební struktura.....	22
Obr. č. 13 – Instalace bércevého a stehenního panelu.....	24
Obr. č. 14 – Instalace nožního panelu .....	25
Obr. č. 15 – Instalace nožního panelu .....	26
Obr. č. 16 – Blokovací ventil [31].....	27
Obr. č. 17 – Zpětný ventil [31] .....	28
Obr. č. 18 – Hadičky [32].....	29
Obr. č. 19 – Pevnosti v tahu různých plastů [36] .....	30
Obr. č. 20 – Příklady použití PVC [33] .....	31
Obr. č. 21 – Lepidlo UHU weich pvc [35] .....	32
Obr. č. 22 – Bezpečnostní značky [35].....	33
Obr. č. 23 - Změna proporcí těla za růstu [37] .....	34
Obr. č. 24 – Řez kůží [6] .....	35
Obr. č. 25 – Proudění krve v dolní končetině (podklad pro obr. převzat z [12]).....	37
Obr. č. 26 – Rozbor teplot při chlazení proudící kapaliny .....	47
Obr. č. 29 – Rozbor teplot při chlazení proudící kapaliny .....	50
Obr. č. 30 – Průtokový chladič [7] .....	53
Obr. č. 28 - Pumpa.....	58



## Seznam tabulek

Tab. č. 1 – Tabulka funkcí (terminologie a schémata přebrána z [14]).....	19
Tab. č. 2 – Morfologická matice (terminologie a schémata přebrána z [14]) .....	20
Tab. č. 3 – Tabulka funkcí a orgánů (terminologie a schémata přebrána z [14]) .....	21
Tab. č. 4 – Velikost dolních končetin.....	34
Tab. č. 5 – Plocha dolní končetiny .....	35
Tab. č. 6 – Plocha dolní končetiny .....	36
Tab. č. 7 – Tepelný výkon dolní končetiny .....	36
Tab. č. 8 – Tepelný výkon dolní končetiny .....	38
Tab. č. 9 – Tepelný tok dolní končetiny .....	38
Tab. č. 10 – Parametry panelů .....	56
Tab. č. 11 – Součinitelé pro určení součinitelů ztrát .....	57
Tab. č. 12 Parametry chladicích panelů: .....	60

# Slovníček technických pojmů

Česko-anglický slovníček technických pojmů, týkající se problematiky chlazení a hypotermie lidské tkáně

## Fyzikální jevy:

fyzikální vlastnosti.....	physical properties
hmotnost .....	mass
hmotnostní průtok .....	mass flow rate
hustota .....	density
měrná tepelná kapacita .....	specific heat capacity
měrné skupenské teplo tání.....	latent heat fusion
měrné skupenské teplo vypařování .....	latent heat vaporization
nepřímé chlazení .....	indirect cooling
objemový průtok .....	volumetric flow rate
odpařování.....	evaporation
odpařovací chladič.....	evaporative cooler
peltierův jev.....	peltier effect
proudění tepla.....	convection
přenos tepla radiací .....	thermal radiation
přímé chlazení .....	direct cooling
seebeckův jev .....	seebeck effect
šíření tepla .....	heat transfer
tekutý stav.....	liquid state
teplo .....	heat
teplota .....	temperature
tepelná vodivost.....	thermal conductivity
termodynamika .....	thermodynamics
vedení tepla .....	heat conduction

## Problematika chlazení:

absorpční lednička.....	absorption refrigerator
chladič, odvod tepla .....	heat sink
chlادivo.....	refrigerant
chlazení .....	cooling
kalorimetr .....	calorimeter

lednička.....	refrigerator
peltierův článek.....	thermoelectric cooling
tepelná trubice .....	heatpipe, heat pipe
teploměr.....	thermometer
termistor.....	thermistor
termoelektrický jev .....	thermoelectric effect
výměník tepla.....	heat exchanger
výměník tepla tubusový .....	tubular heat exchanger

### **Lékařské pojmy:**

bazální metabolický výdej.....	basal metabolic rate
břicho .....	abdomen
céva .....	blood vessel
člověk.....	human
fyziologie.....	physiology
hrud' .....	chest
hypotermie(podchlazení) .....	hypothermia
chodidlo .....	sole (foot)
krev .....	blood
končetina .....	limb (anatomy)
lidská kůže .....	skin
lymfatická soustava .....	lymphatic system
lýtko .....	calf
metabolismus.....	metabolism
noha.....	leg
oběhová soustava.....	circulatory systém
pacient .....	patient
pot.....	perspiration
řízená hypotermie .....	therapeutic hypothermia
srdce .....	heart
srdeční zástava.....	cardiac arrest
stehno .....	thigh
sval .....	Musile
teplota jádra.....	core temperature
termoregulace.....	thermoregulation
tělesná teplota .....	body temperature
tkáň.....	tissues

## Seznam příloh

- výkres č. 3VSB\_ZZ\_00025\_SESTAVA\_CHLAD\_PAN
- výkres č. 3VSB\_ZZ\_00028\_CHLAD\_PANEL\_1
- výkres č. 3VSB\_ZZ\_00029\_CHLAD\_PANEL\_2
- výkres č. 3VSB\_ZZ\_00042\_PANEL\_POLOTOVAR
- výkres č. 3VSB\_ZZ\_00047\_PANEL\_NOHA\_POLOTO